

**PROJE NO: 101I004 (İÇTAG-I575)**

**MEVCUT BİNALAR İÇİN GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ  
GELİŞTİRİLMESİ**

DOÇ. DR. UĞURHAN AKYÜZ  
PROF. DR. TUĞRUL TANKUT  
PROF. DR. UĞUR ERSOY  
PROF. DR. GÜNEY ÖZCEBE  
PROF. DR. FARUK KARADOĞAN  
DOÇ. DR. ALPER İLKİ  
Y. DOÇ. DR. ERCAN YÜKSEL  
Y. DOÇ. DR. ŞEVKET ÖZDEN  
DR. MEHMET BARAN  
YÜK. MÜH. GÖKHAN ÖZDEMİR  
YÜK. MÜH. CEM DEMİR

EYLÜL 2005  
ANKARA

## ÖNSÖZ

Aralık 2000’de NATO Science for Peace (SfP) ofisinde Türkiye’nin yürütücülüğünde, Amerika Birleşik Devletleri, Yunanistan ve Makedonya’nın araştırmacı olarak bulunduğu *NATO SfP-977231* proje numarası ile *SEISMIC ASSESSMENT AND REHABILITATION OF EXISTING BUILDINGS* isimli projeye destek sağlanmıştır. Söz konusu projenin yürütücüsü Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) İnşaat Mühendisliği Öğretim Üyelerinden Prof. Dr. Güney Özcebe’dir. NATO’dan alınan desteğe ek olarak yurt içinden de destek sağlanması kararlaştırılmıştır. NATO SfP’ce tek bir proje olarak destek sağlanan araştırma çalışması, içerisinde kapsadığı geniş konu yelpazesi sebebiyle, dört ana başlık altında toplanmış ve TÜBİTAK İnşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu’na (İÇTAG) bu dört ayrı proje önerisi ile başvurulmuştur. Dört proje önerisi de, TÜBİTAK İÇTAG tarafından kabul edilmiştir. Bu dört projeden bir tanesi olan TÜBİTAK İÇTAG I575 MEVCUT BİNALAR İÇİN GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ GELİŞTİRİLMESİ araştırma projesi Mayıs 2001 tarihinde yapılan sözleşme gereğince resmen başlamıştır. I575 numaralı projeye, NATO ve TÜBİTAK’ın yanında ODTÜ’nün de desteği sağlanmıştır. TÜBİTAK ile başlangıçta yapılan ilk sözleşmede, proje süresi üç yıl olarak yer almasına rağmen projenin büyüklüğü ve araştırma yelpazesinin genişliğinden dolayı proje bir senelik ek süre ile beraber Mayıs 2005 tarihinde bitirilmiştir.

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	2
İÇİNDEKİLER.....	3
TABLO VE ŞEKİL LİSTELERİ.....	4
ÖZET.....	6
ABSTRACT.....	7
GİRİŞ.....	8
ÇALIŞMA ESASLARI.....	8
Deney esasları.....	8
Yatay tek açıklıklı ikiz çerçeve.....	8
Dikey tek açıklıklı çerçeve.....	8
Üç açıklıklı çerçeve.....	9
Güçlendirme esasları.....	9
KARBON LİFLİ FİBER (KLF) İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ TUĞLA DUVARLAR.....	9
Yatay Tek Açıklıklı İkiz Çerçeve Deneyleri.....	10
½ Ölçekli Deneyler.....	11
Malzeme Özellikleri.....	11
Numunelerin Hazırlanması ve Güçlendirilmesi.....	12
Deney Düzenegi.....	12
Deney Sonuçları.....	12
Sonuçlar.....	14
Üç Açıklıklı Deneyler.....	14
TUĞLA DUVARLARIN ÖNÜRETİMLİ PANELLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ.....	15
Dikey tek açıklıklı iki katlı çerçeve deneyleri.....	15
Dikey tek açıklıklı tek katlı çerçeve deneyleri.....	17
Deney Sonuçları.....	17
Sonuçlar.....	19
KLF İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BOŞLUKLU TUĞLA DOLGU DUVAR DENEYLERİ.....	19
KLF ANKRAJ DENEYLERİ.....	20
Tip 1.....	20
Tip 1 Deney Sonuçları.....	21
Tip 2.....	21
Tip 2 Deney Sonuçları.....	22
KLF Ankrajların Çekme Kapasitelerinin Hesaplanması.....	22
KLF Ankraj Deneylerinin Sonuçları.....	23
EK – 2 ŞEKİLLER.....	35
EK – 3 YAYINLAR.....	65
EK – 4 REFERANSLAR.....	67

# TABLO VE ŞEKİL LİSTELERİ

## 1. TABLO LİSTESİ

Tablo 1 KLF ile Güçlendirilmiş Tek Açıklıklı İki Katlı İkiz Elemanların Test Sonuçları.....	24
Tablo 2 1/2 Ölçekli Numunelerin Genel Özellikleri .....	24
Tablo 3 1/2 Ölçekli Numunelerde Kullanılan KLF Özellikleri .....	24
Tablo 4 Üç Açıklıklı İki Katlı Elemanların Test Sonuçları.....	24
Tablo 5 Tek Açıklıklı İki Katlı Elemanların Malzeme Dayanımları .....	25
Tablo 6 Tek Açıklıklı İki Katlı Elemanların Test Sonuçları .....	25
Tablo 7 Tuğla Dolgu Duvar Deneylerinin Sonuçları .....	25
Tablo 8 Tek Açıklıklı Tek Katlı Eleman Özellikleri .....	25
Tablo 9 Deney Elemanlarına ait Malzeme Dayanımları .....	26
Tablo 10 Tek Açıklıklı Tek Katlı Elemanların Test Sonuçları.....	26
Tablo 11 Tek Açıklıklı Tek Katlı Elemanların Test Sonuçlarının Referans Deneyle Karşılaştırılması.....	26
Tablo 12 Tip 1 Ankrajların Deney Sonuçları .....	27
Tablo 13 KLF Mekanik Özellikleri .....	32
Tablo 14 Tip 2 Deney Sonuçları .....	33
Tablo 15 Sonuçların Karşılaştırılması.....	34

## 2. ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1 Tek Açıklıklı İkiz Çerçeve.....	35
Şekil 2 Tek Açıklıklı Çerçeve .....	35
Şekil 3 Üç Açıklıklı Çerçeve.....	36
Şekil 4 Karbon Fiber ile Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar .....	36
Şekil 5 KLF'yi Tuğla Duvar ve Betona Bağlayan Ankrajlar.....	37
Şekil 6 KLF ile Güçlendirilmiş İki Katlı Tek Açıklıklı İkiz Çerçevelerin Zarf Eğrileri.....	37
Şekil 7 1/2 Ölçekli Numunelerin Boyut ve Donatıları .....	37
Şekil 8 1/2 Ölçekli Numunelerin Hazırlanma Aşamaları .....	38
Şekil 9 1/2 Ölçekli Şekil Deney Elemenalarının Güçlendirme Detayları .....	38
Şekil 10 1/2 Ölçekli Şekil Numunelere Güçlendirme Uygulaması .....	38
Şekil 11 1/2 Ölçekli Bindirmeli Ekli Numunede Ek Güçlendirme Adımları.....	39
Şekil 12 1/2 Ölçekli Numune Yükleme Düzeneği .....	39
Şekil 13 1/2 Ölçekli Numune Ölçüm Sistemi .....	40
Şekil 14 BC-0-1-14 ve IC-0-1-11 Numuneleri Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri .....	40
Şekil 15 IC-0-1-11 Numunesinin Hasar Durumu .....	41
Şekil 16 BL-0-1-8.6 ve IL-0-1-17 Numuneleri Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri.....	41
Şekil 17 IL-0-1-17 Numunesi Hasar Durumu.....	41
Şekil 18 IC-C1-1-10 Numunesi Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi.....	42
Şekil 19 IL-C1-1-10 Numunesi Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi .....	42
Şekil 20 IC-C1-1-10 Hasar Gelişimi.....	42
Şekil 21 IL-C1-1-10 Hasar Gelişimi .....	43
Şekil 22 1/2 Ölçekli Tüm Numunelerin Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Zarfları.....	43
Şekil 23 Betonarme Perde ile Güçlendirilen İki Katlı Üç Açıklı Çerçeve.....	43
Şekil 24 KLF ile Güçlendirilen Boşluklu Tuğla Duvar Dolgulu İki Katlı Üç Açıklıklı Çerçeve ...	44
Şekil 25 Boş ve Güçlendirilmiş İki Katlı Üç Açıklıklı Çerçevelerin Zarf Eğrileri (Boş çerçeve sonucu [36]'den alınmıştır) .....	44
Şekil 26 Tek Açıklıklı İki katlı Zayıf Çerçeve Detayı .....	45
Şekil 27 Tek Açıklıklı İki katlı Minimum Donatı Sağlanmış Yönetmelik Çerçeve Detayı.....	46
Şekil 28 Önüretimli Panel Detayı, Tip-1.....	47

Şekil 29 Önüretimli Panel Detayı, Tip-2	Fotoğraf 2 Önüretimli Panel Detayı, Tip-2 ...	48
Şekil 30 Önüretimli Panel Detayı, Tip-3 ve Tip-5.....		49
Şekil 31 Önüretimli Panel Detayı, Tip-4 ve Tip 6.....		50
Şekil 32 Referans, Tip-1 - Tip-6 Panelli Çerçevelerin Zarf Eğrileri .....		51
Şekil 33 Referans, Tip-1 - Tip-6 Panelli Çerçevelerin Sertlik Azalma Eğrileri .....		51
Şekil 34 Tek Açıklıklı Tek Katlı Zayıf Çerçeve Detayı .....		52
Şekil 35 S1 Deney Çerçevesinin Tersinir-Tekrarlı Yükler Altındaki Davranışı .....		53
Şekil 36 S2 Deney Çerçevesinin Tersinir-Tekrarlı Yükler Altındaki Davranışı .....		54
Şekil 37 S0, S1 ve S2 Elemanlarına Ait Zarf Eğrileri.....		55
Şekil 38 S3 Elemanı için Yatay Yük – Deplasman Eğrisi .....		56
Şekil 39 S4 Elemanı için Yatay Yük – Deplasman Eğrisi .....		57
Şekil 40 S0, S3 ve S4 Elemanlarına Ait Zarf Eğrileri.....		58
Şekil 41 Tuğla Çerçeve Deney Düzeneği ve Deney Elemanı .....		59
Şekil 42 Eksenel Çekme Deney Düzeneği .....		59
Şekil 43 a) KLF Tabakası (solda) b) KLF Ankraj (sağda).....		59
Şekil 44 a) Betona Yerleştirilmiş KLF Ankraj (solda) b) Çekme Çubuğuna Tutturulmuş KLF Ankraj .....		60
Şekil 45 Delik Çapının Etkisi .....		60
Şekil 46 Beton Basınç Dayanımının Etkisi .....		60
Şekil 47 KLF tabakası genişliğinin etkisi .....		61
Şekil 48 KLF tabakası genişliğinin etkisi (Normalize edilmiş değerler) .....		61
Şekil 49 Ankraj Derinliğinin Etkisi .....		61
Şekil 50 Ankraj Derinliğinin Etkisi .....		62
Şekil 51 Epoksi ile Kaplanmış KLF Tabakası .....		62
Şekil 52 KLF Tabakasının Yuvarlanarak Ankrajın Hazırlanması .....		62
Şekil 53 Beton Dayanımının Etkisi .....		63
Şekil 54 Ankraj Derinliğinin Çekme Kapasitesi Üzerindeki Etkisi, 10 MPa beton.....		63
Şekil 55 Ankraj Derinliğinin Çekme Kapasitesi Üzerindeki Etkisi, 16 MPa beton.....		63
Şekil 56 Ankraj Derinliği Boyunca Gerilme Dağılımı.....		64

## ÖZET

Bugün ülkemizde ve diğer ülkelerde yaygın olarak uygulanan "sistem iyileştirmesi" yöntemi, dayanımı ve rijitliği yetersiz çerçevelerin bazı gözlerinin betonarme dolgu ile doldurularak yeni bir yatay yük taşıyıcı sistemi olmuşturulması olarak tanımlanabilir. Ülkemizde bugün karşılaşılan en önemli sorunlardan biri de hasar görmemiş ve kullanılmakta olan çok sayıda zayıf binanın depreme dayanıklı duruma getirilmesidir. Bu binaların güçlendirilmesinde, "sistem iyileştirmesi" yönteminin kullanılması elbette mümkündür. Ancak sözü edilen yöntemde dolgu duvarların oluşturulmasında beton kullanılacağından, binaların boşaltılması gerekmektedir. Çok sayıda binanın boşaltılması ve binada yaşayanların eşyaları ile birlikte başka bir konuta yerleştirilmesi pratik bir çözüm değildir. Bu proje kapsamında, depreme dayanıklı olmayan ve halen kullanılmakta olan binaların boşaltılmadan güçlendirilmesini sağlayacak yöntemler geliştirilmiş ve bunların gerekli dayanım ve rijitliği sağladığı deneysel ve analitik olarak kanıtlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, güvenlik, betonarme yapılar, güçlendirme, KLF, önüretimli panel

## ABSTRACT

In the system behavior improvement technique, the general philosophy is to introduce a new lateral load resisting system, which will increase the lateral strength and the lateral stiffness of the existing system, which is generally a non-ductile frame with inadequate lateral stiffness. Various techniques based on this principle have been developed and applied in the past. Among them, the most widely used technique is the formation of new stiff walls through infilling some bays of the existing frame with reinforced concrete infills. Use of infilled frames as a method of seismic behavior improvement for existing structures is presently a very common application in Turkey. All these techniques are applicable at the cost of a certain discomfort to the occupants and, the application of these techniques in the rehabilitation of undamaged buildings may not very practical. With this project, the development of new strengthening techniques was achieved. Experimental and analytical studies have been done to prove the effectiveness of newly developed strengthening techniques. In this study, rapid and yet reliable rehabilitation methodologies for Turkey have been developed.

**Keywords:** Earthquake, reinforced concrete, strengthening, earthquake safety, CFRP, precast panel

# GİRİŞ

Depreme karşı onarım ve güçlendirme genelde ikiye ayrılır: a) genel sistem davranışının iyileştirilmesi, b) eleman tamirati/güçlendirilmesi. Siste iyileştirilmesi yönteminde mevcut yapıya, yanal dayanımı ve yanal rijitliği artırmak amacıyla yeni yanal yük taşıyıcı elemanlar yerleştirilir. Sistem iyileştirilmesinin yanında, eğer mevcut taşıyıcı elemanlarda bir zayıflık varsa, bunların da onarılması ve/veya güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu projede iki yeni güçlendirme tekniği geliştirilmiştir. Bunlar, tuğla duvarların karbon lifli fiber (KLF) ile güçlendirilmesi ve tuğla duvarların önüretimli paneller ile güçlendirilmesidir. Proje kapsamında bu iki yeni teknik konvansiyonel güçlendirme teknikleri ile karşılaştırılmıştır. Burada belirtmek gerekirk, mevcut, halihazırda kullanılan binalarda konvansiyonel güçlendirme teknikleri uygulamak, binayı kullananlar olması sebebiyle, oldukça zor hatta imkansıza yakındır. Geliştirilen yeni teknikler, büyük ölçekli deney elemanlarında ve sarsma tablasında denenmiştir. Tüm deney sonuçları analitik çalışmalarla karşılaştırılarak desteklenmiştir.

## ÇALIŞMA ESASLARI

### *Deney esasları*

Laboratuvar imkanları göz önüne alınarak deneylerin büyük bir kısmı iki boyutlu, tek açıklıklı, iki katlı bir bölü üç ölçekli betonarme çerçeve sistemler kullanılarak, tersinir-tekrarlanan yükler altında, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır. İki katlı bu çerçeveler çok katlı bir binanın alt katlarını temsil etmektedir. Bazı seçilen deneyler üç açıklıklı çerçevelerde de tekrarlanarak deney elemanı olarak kullanılan tek açıklıklı çerçeve sonuçlarının çok açıklıklı çerçeve sistemine uyarlanabilmesi sağlanmıştır. Oluşturulan deney düzenekleri aşağıda açıklanmıştır.

### **Yatay tek açıklıklı ikiz çerçeve**

ODTÜ'de uzun senelerdir bir çok yüksek lisans ve doktora çalışmasında kullanılan nispeten basit bir çerçeve modelidir. Her deney elemanı, birbirine ortak bir temel kiriş ile bağlanmış iki adet deney çerçevesinden oluşmaktadır (Şekil 1). Düzenekte, birbirine çelik profillerle bağlanmış iki adet büyük reaksiyon kirişi mevcuttur. Depremi benzeştiren tersinen-tekrarlanan yükler, ikiz elemanlara temel kirişi seviyesinden uygulanmakta ve reaksiyonlar her iki çerçevenin ikinci kat düzeyindeki yanal yükü oluşturmaktadır. Deneylere başlamadan önce, hidrolik krik o aracılığı ile öngerme verilen çelik kablolar sayesinde kolonlara eksenel yük uygulanmakta ve bu eksenel yük deney boyunca sabit tutulmaktadır (Şekil 1).

### **Dikey tek açıklıklı çerçeve**

Tek açıklıklı iki katlı, ikiz çerçevelerin yarısı ile benzer çerçeve sistemi, kuvvet duvarının yanına sabitlenerek deneye tabi tutulmaktadır. Sismik davranışı verebilmek



için, çift yönlü kriko sabit duvar ile çerçeve arasına ikinci kat seviyesinden yerleştirilerek, tersinir-tekrarlanan yükler altında deneyler yapılmıştır (Şekil 2).

### **Üç açıklıklı çerçeve**

Dikey konumda test edilen tek açıklıklı çerçeve sisteminin, yükleme ve mesnet bakımından aynısıdır (Şekil 3). Belirsizlik derecesi tek açıklıklı çerçeveye göre daha fazla olduğundan kolon reaksiyonlarının ölçülmesi gerekmiştir. Bu sebeple özel bir reaksiyon ölçer tasarlanmış ve test edilmiştir. Böylelikle iki uçtaki kolon iç kuvvetleri ölçmek mümkün olmuştur.

### **Güçlendirme esasları**

Mevcut hasar görmemiş yapıların sistem iyileştirmesinde iki farklı yöntem uygulanmıştır:

- Karbon lifli fiber (KLF) ile güçlendirilmiş tuğla duvar
- Tuğla duvarların önüretimli paneller ile güçlendirilmesi

Böylece binaların en temel sismik zayıflıkları olan yanal rijitliklerinin artırılarak sismik davranışlarının iyileştirilmesi sağlanmıştır.

## **KARBON LİFLİ FİBER (KLF) İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ TUĞLA DUVARLAR**

Mevcut boşluklu tuğla duvarlar KLF malzeme uygulanması ile güçlendirilmiştir. Bu sayede oluşturulan dolgu duvarın sistemin yatay rijitliğine önemli ölçüde katkı sağlaması beklenmektedir. Ayrıca KLF ile güçlendirilmiş tuğla duvarın gevrek kırılmasının önleneyeceği, bunun da sistemin sünekliğini artıracacağı düşünülmüştür. Bu testlerde gözönüne alınan parametreler aşağıda listelenmiştir ve bu çalışmalarla ilgili birkaç örnek Şekil 4’de gösterilmiştir.

- KLF Uygulama Alanı – Sadece tuğla duvarların tamamına uygulanan KLF’in duvarın kırılmasını geciktirerek süneklik ve dayanıma önemli ölçüde katkıda bulunması beklenmiştir. Öte yandan betonarme elemanlara kadar uzanmış, kiriş ve kolonlara yapıştırılmış KLF’in, çekmeye çalışan diagonal eleman işlevi görerek tuğla duvarı güçlendirmek yanında sistemin yanal rijitliğinede önemli ölçüde katkıda bulunması hedeflenmiştir.
- KLF Katmanlarının Sayısı – İki katman halinde uygulanacak KLF’in tuğlayı daha iyi sarması ve çok daha yüksek bir iyileştirme oranı sağlaması doğaldır. Ancak bu malzemenin yüksek fiyatı tek katmanlı deneylerin yapılmasına yol açmıştır.
- KLF ile Kaplanan Alan – İlk deneyler sonucunda betonarmeye uygulanan KLF’in çekme diagonal özelliğinin yeterince etkin olduğu kanıtlanmış ve bütün duvarın KLF ile kaplanması yerine KLF’in sadece diagonal bant olarak

kaplanması araştırılmıştır. Böylece bu teknik daha ekonomik hale getirebilmiştir.

- KLF Kenetleme Teknikleri – KLF ve beraberinde kullanılan yapıştırıcılar oldukça yüksek dayanımlara sahiptirler ve oldukça yüksek yükleri taşıyabilirler. Burada kullanılan ankrajlar, bu yükleri mesnetlere aktarabilecek kadar güçlü olmalıdırlar. Bu yüklerin beton veya sıvada çok yüksek düzeylerde kesme kuvvetlerine yol açmaları kaçınılmazdır. Bu da, eğer iki taraftaki KLF katmanları birbirine etkin bir biçimde kenetlenmezse, kesme dayanımı çok düşük olan beton veya sıvanın ayrılmasına sebep olmaktadır. KLF'nin betona ve tuğla duvara kenetlenme detayı Şekil 5'de verilmiştir. Bu proje kapsamında KLF ankrajların çekme kapasiteleri deneysel olarak tespit edilmiş ve dizayn aşaması için kapasite tayini için bir formül önerilmiştir.
- KLF Yönü – Tüm duvara uygulanan KLF en az birbirine dik yönde yerleştirilmiş iki katmandan oluşur. Malzemenin israfını önlemek için bu tür kullanım en etkin ve doğal yoldur.

### ***Yatay Tek Açıklıklı İkiz Çerçeve Deneyleri***

Bu grupta toplam yedi adet iki katlı, tek açıklıklı eleman üretilmiştir. Elemanların tamamı Türkiye'deki yapılarda gözlenen zayıflıkları içermektedir. Tuğla dolgu ölçekleri eleman ölçekleri ile uyumlu olup, Türkiye'deki uygulamalar çerçevesinde elemanlara uygulanmıştır.

Bu elemanlardan ilki referans elemanıdır. Tuğla duvar ve betonarme elemanların üzerine bir kat sıva uygulanmıştır. Bu eleman diğer elemanlara referans olacağından, hiçbir şekilde güçlendirilmemiştir. Elemanın dayanımı ve davranışı beklenen şekilde olmuştur ve güçlendirilmiş elemanlara referans olacak kullanılacaktır.

Test edilen ikinci eleman, birincisi ile tamamen aynı özellikleri taşımaktadır. Ancak bu elemanın tuğla duvarları her iki yönde tamamen KLF ile kaplanmıştır (uygulanan KLF betonarme elemanlar üzerine uzanmamaktadır). Dayanımda az bir artış olmasına rağmen elemanın davranışı oldukça iyileşmiştir.

Test edilen üçüncü eleman, ilk ikisi ile tamamen aynı özellikleri taşımaktadır. Ancak bu elemanın dış yüzeye karşılık gelen yüzü tamamen KLF ile kaplanmıştır. İkinci deneyin aksine, uygulanan KLF betonarme elemanlar üzerine de uzanmaktadır. Yine ikinci deneyde olduğu gibi KLF birbirine dik yönde yerleştirilmiş iki katmandan oluşmuştur. İkinci deneyde KLF'in sıva ile beraber eleman yüzeyinden kolaylıkla ayrıldığı görülmüştü. Bunu engellemek için KLF, çerçevenin çeşitli yerlerine yine karbon fiberlerden üretilen ankrajlarla ankre edilmiştir. Dayanımda bir miktar artış olmuş ve elemanın davranışı oldukça iyileşmiştir.

Dördüncü deney elemanının bir yüzü tamamen KLF ile kaplanırken diğer yüzde ise sadece tuğla duvarlar iki kat KLF ile kaplanmıştır. Daha önceki deneylerde görülen KLF'in yüzeyden ayrılması sorununu gidermek için çeşitli bölgelere ankrajlar yapılmıştır. Deney sırasında bu ankraj sisteminin oldukça başarılı çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu detaylandırma sayesinde dayanım, güçlendirilmemiş elemana göre yaklaşık iki kat artarken davranış da oldukça iyileşmiştir.

Serinin beşinci deneyinde KLF tuğla duvar boyunca çapraz şerit olarak uygulanmıştır. Uygulamadaki şerit genişliği 200 mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca kritik noktalarda KLF'in yüzeyden ayrılmasını önlemek için ankrajlar yapılmıştır. Bu ankrajların yerleri

Şekil 4-A5 de gösterilmiştir. Bu uygulama detayı yukarıda anlatılan dördüncü deneydeki detayla gerek dayanım gerekse davranış olarak çok yakın sonuçlar vermiştir. Önemli olan nokta dördüncü deneyde kullanılan malzeme miktarının beşinci deneydekine oranla yaklaşık dört kat fazla olmasıdır.

Serinin son deneyindeki KLF detayı bir önceki deneye oldukça benzemektedir. Beşinci deneyde KLF'in yüzeyden ayrılması ve göçmenin birinci kat kolon uçlarında meydana geldiği gözlenmiştir. Bu numunede, bu durumu engelleyebilmek veya en azından geciktirebilmek amacıyla birinci kat kolon uçlarında 150 mm yüksekliğinde iki kat KLF ile sarıldı. Bu KLF detayı da dayanımı oldukça artırmaya karşın göçmesi birinci kat kolon kiriş birleşim yerlerinde meydana gelen gevrek kesme kırılması sonucu oluştu.

Bu serideki son deneyde altıncı deneydeki gevrek kırılmayı önleyebilmek için birinci kat kolon kiriş birleşim yerlerindeki ankıraj detayları değiştirilmiştir. Ankıraj boyu ve ankıraj için kullanılan CFRP alanı arttırılmıştır. Ancak göçme yine birinci kat kolon kiriş birleşim yerlerinde gevrek kesme kırılması sonucu olmuştur. Çalışma kapsamında yapılmış KLF deneyleri Şekil 1'de sonuçları ise Tablo 1 ve Şekil 6'da verilmiştir.

## **½ Ölçekli Deneyler**

Projenin İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yapılan kısmında, ½ ölçekli numuneler test edilmiştir. Tüm numuneler zayıf kolon-kuvvetli kiriş durumunu temsil edecek şekilde, düşük basınç dayanımlı beton, düz yüzeyli boyuna ve enine donatı kullanılarak hazırlanmıştır. Ayrıca tüm numunelerin sarılma bölgelerinde sünek davranış sağlayacak yeterli enine donatı bulunmamaktadır. Bunlar dışında tüm numuneler çift olarak planlanmış olup, her çiftten birinde kolon boyuna donatıları temelden ikinci kat kolon üst kotuna kadar sürekli olarak devam ederken, diğesinde temel-kolon birleşiminde ve kat birleşimlerinde boyuna donatılar bindirmeli ekler ile birleştirilmiştir. Bindirmeli ekli boyuna donatıya sahip numuneler uygulamada sıkça karşılaşılan yetersiz boyda bindirme yapılmış donatı eklerini temsil etmek üzere 20φ kadar bindirilmiştir. φ boyuna donatının çapı olup, denenen numunelerde 12 mm olduğu için bindirme boyu da 240 mm dir. Ayrıca gene depremler sonrası hasar görmüş olan mevcut yapılarda sıkça rastlandığı gibi, bindirmeli ekler düz yüzeyli donatı ile yapılmasına karşın donatı uçlarında kanca yapılmamıştır. Numunelerin genel özelliklerini yansıtan bilgiler Tablo 2'de, numunelerin boyut ve donatıları Şekil 7'de verilmiştir.

Numune ölçek, boyut, geometrisi ve diğer özellikleri İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarının imkanları da göz önüne alınarak çalışmanın Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yapı Laboratuvarında yapılan deneyler ile karşılaştırılabilir olması amacı ile ilgili iki üniversiteden projede çalışan araştırmacıların ortak katkıları ile belirlenmiştir.

## **Malzeme Özellikleri**

Numunelerin 28 günlük karakteristik silindir beton basınç dayanımları Tablo 2'de verilmiştir. Beton basınç dayanımlarının 12-16 MPa arasında olması amaçlanmış olmakla birlikte, Tablo 2'den de görülebileceği gibi beton dayanımları 8.7-17.0 MPa arasında değişmiştir. Betonarme kolon ve kirişlerde 12 mm çapında boyuna donatı, 6 mm çapında enine donatı kullanılmıştır. Her iki çaptaki donatı da S220 türü düz yüzeyli betonarme çeliğidir. 12 mm çaplı donatılar için elde edilen akma dayanımları

270-290 MPa arasında değişmektedir. Kullanılan tuğlalar için de  $\frac{1}{2}$  ölçeğini sağlamak üzere inşaat uygulamalarında yaygın olarak kullanılan  $135 \times 200 \times 200 \text{ mm}^3$  boyutlu boşluklu tuğlalar deliklere dik doğrultuda ikiye kesilmiştir. Bu tür tuğlalarda delikler doğrultusundaki basınç dayanımı 2.5-10 MPa arasında değişmekte olup, boşluk oranı yaklaşık %60 dır. Bu tuğlalar kolon ve kirişler ile sadece bir tarafta hem yüz olacak şekilde çerçeve içine dışmerkez olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kullanılan harcın bileşimi; su:çimento:kireç:kum hacimce 1:1:0.5:4.5 olup, duvar örme sırasında oluşturulan harç kalınlığı yaklaşık 10 mm dir. Mevcut yapılarda olduğu gibi, duvar örüldükten sonra sıvanmıştır. Sıva kalınlığı da yaklaşık 10 mm dir. Güçlendirme amacı ile karbon lifli polimer kompozit malzeme kullanılmış olup, bu malzeme için üreticisi tarafından verilmiş olan özellikler Tablo 3'de sunulmuştur.

### **Numunelerin Hazırlanması ve Güçlendirilmesi**

Numuneler İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında hazırlanmıştır. Numunelerin hazırlanmasına ait bazı görüntüler Şekil 8'de verilmiştir. Boyuna donatıları sürekli ve bindirmeli ekli olan numunelerin güçlendirmesi için Şekil 9'de verilen yöntem izlenmiştir.

Bu amaçla öncelikle her iki güçlendirilen numunede dolgu duvarlar üzerine iki diyagonal doğrultuda KLF yapıştırılmıştır. Duvarın iki yüzündeki diyagonal KLF'ler birbirlerine KLF ankraj elemanları ile bağlanmıştır. Duvar köşelerinde biriken gerilmeleri yaymak amacı ile her iki doğrultuda KLF parçaları eklenmiştir. Diyagonal doğrultuda kullanılan KLF temele ve betonarme çerçeveye bağlantıları da KLF ankrajlar ile yapılmıştır. Bu ankraj bağlantıları için betonarme çerçeve elemanlarda 120 mm, temelde 200 mm derinliğinde delikler açılmıştır. Delikler iyice temizlendikten sonra epoksi yapıştırıcı ile doldurulup ikiye katlanmış KLF elemanlar bu deliklere yerleştirilmiştir. KLF delik dışında kalan bölümleri yayılarak duvara yapıştırılmıştır. Güçlendirme uygulamasının çeşitli aşamaları Şekil 10'de verilmiştir. Kolon boyuna donatıları bindirmeli ekli olan numunede Şekil 11'de gösterilen ek güçlendirme detayları da uygulanmıştır. Bu numunede kolonlar KLF ile sarılırken gerilme yığılmalarını önlemek üzere kolonların köşeleri yuvarlanmıştır. Daha sonra kolon boyuna doğrultusunda, kolon çekme bölgesindeki donatılardaki çekme kuvvetini karşılayacak düzeyde KLF yapıştırılmıştır. Daha sonra bu KLF temele bağlantısı için yukarıda açıklanan türde KLF ankraj elemanlarından yararlanılmıştır. Son aşama olarak kolonların üç kenarı ve kolonlara komşu duvar bölümü enine doğrultuda tek kat KLF ile güçlendirilmiştir.

### **Deney Düzeneği**

Deneyler sırasında kullanılan yükleme düzeneği Şekil 12'de sunulmuştur. Bu şekilden de görülebileceği gibi düşey yükler bir Enerpac hidrolik krik o ile, yatay yükler denenen numunenin kapasitesine göre bir ya da iki adet yerdeğiştirme kontrollü MTS hidrolik veren ile uygulanmıştır. Ölçüm sistemi yerdeğiştirmeölçerler, şekildeğiştirmeölçerler ve yükölçerler ile çoğaltma kutuları ve veri toplayıcıdan oluşmaktadır. Yapılan ölçümlerde kullanılan aletlerin konumları Şekil 13'de verilmiştir.

### **Deney Sonuçları**

Deney sonuçları numunelerin yük-yerdeğiştirme ilişkileri ve hasar fotoğrafları ile sunulmuştur. Şekil 14'de çıplak (BC-0-1-14) ve dolgu duvarlı (IC-0-1-11) çerçevelere ait yük-yerdeğiştirme ilişkileri sunulmuştur. Her iki numunenin de kolon boyuna donatıları sürekli dir. Bu şekilden de görülebileceği gibi dolgu duvarlı IC-0-1-11 numunesinin hem rijitliği, hem de yatay yük taşıma kapasitesi BC-0-1-14 çıplak

çerçevesine göre çok daha yüksektir. Dolgu duvarlar çıplak çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini yaklaşık dört katına çıkarmıştır. Ancak yük taşıma kapasitesindeki bu artış ileri yerdeğiştirme seviyelerinde korunamamıştır. BC-0-1-14 numunesinde hasar kolon-kiriş birleşimlerinde ve alt kat kolonlarının temele yakın bölgelerinde yoğunlaşırken, IC-0-1-11 numunesinde hasar alt kat kolonları boyunca yayılmıştır, Şekil 15. Dolgu duvarda az miktarda ince diyagonal çatlak oluşmuş olmakla birlikte alt kat duvarında gözlenen ana hasar duvar köşelerindeki ezilmelerdir. İkinci katta ise gerek betonarme elemanlarda, gerekse duvarda belirgin bir hasar oluşmamıştır. Yaklaşık %0.5 (15.4 mm tepe yerdeğiştirmesi) öteleme oranında ( $\delta/H$ ), bu numunede ilk kat kolonlarının üst bölgelerinde ve düşüm noktasında çatlaklar oluşmaya başlamış, ve yatay yük kapasitesinde düşme gözlenmiştir. Burada  $\delta$  tepe yerdeğiştirmesi, H numunenin toplam yüksekliğidir, (Şekil 14'de A ve B noktaları). Yaklaşık %0.8 (23.5 mm tepe yerdeğiştirmesi) öteleme oranında, ilk kat kolonları büyük kayma çatlakları nedeni ile dayanımlarını kaybetmişlerdir. Bu yerdeğiştirme düzeyinde ilk kat dolgu duvarında büyük bir diyagonal çatlak oluşmuş ve duvar ile çerçeve birbirlerinden ayrılmıştır.

Boyuna donatıları bindirmeli ekli olan çıplak çerçeve (BL-0-1-8.6) ve dolgulu çerçeveye (IL-0-1-17) ait yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 16'da sunulmuştur. Sürekli boyuna donatılı numunelere benzer şekilde dolgu duvarlı çerçevenin rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitesi çıplak çerçeveye göre belirgin olarak yüksektir. Bu numunelerin hasar durumlarının da boyuna donatıları sürekli numunelere benzer olduğu görülmüştür, (Şekil 16). Bu numunelerde de ikinci katta önemli bir hasar gözlenmemiştir. Dolgu duvarlı çerçevenin alt kat kolonunda kayma hasarı yaklaşık %0.65 (18.5 mm tepe yerdeğiştirmesi) öteleme oranında oluşmuş (Şekil 16'da A ve B noktaları), öteleme oranı yaklaşık %0.8 (23.5 mm tepe yerdeğiştirmesi) olduğunda alt kolonu üst bölgesinde betonun ezilmesi ve boyuna donatının burkulması ile numune taşıma gücünü kaybetmiştir. IL-0-1-17 numunesinin hasar durumu Şekil 17'de gösterilmiştir.

KLF diyagonaller ile bölme duvarları güçlendirilen kolon boyuna donatıları sürekli (IC-C1-1-10) ve bindirmeli ekli (IL-C1-1-10) çerçevelerine ait yük-yerdeğiştirme ilişkileri Şekil 18 ve Şekil 19'da sunulmuştur. Her iki çerçeve de, daha önce denenilen dolgu duvarlı çerçevelerde olduğu gibi ilk kat kolonlarında oluşan eğilme çatlakları ile hasar görmeye başlamıştır. IC-C1-1-10 numunesinde KLF duvar yüzeyinden ayrılmaya başlaması yaklaşık %0.3 (tepe yerdeğiştirmesi 9 mm) öteleme oranında duvar köşelerine yakın bölgelerde gözlenmiştir. Güçlendirilmemiş dolgu duvarlı çerçevelerden farklı olarak ikinci kat dolgu duvarlarında da çatlaklar gözlenmiştir. Yaklaşık %0.4 (tepe yerdeğiştirmesi 12 mm) duvar sıvasının ve KLF bir bölümünün duvardan ayrılması ile hasar artmış ve yatay yük taşıma kapasitesinde azalma olmuştur, (Şekil 18'deki A noktası). Yaklaşık % -0.65 (tepe yerdeğiştirmesi -18 mm) yatay öteleme düzeyinde alt kat kolonlarının üst bölümünde kayma hasarı oluşmuş, duvarın her iki yüzü üzerindeki KLF kopmuştur, (Şekil 18'deki B noktası). Diğer doğrultudaki iki diyagonal KLF güçlendirme elemanı da diğer yöndeki bir sonraki yükleme çevriminde kopmuştur, (Şekil 18'deki C noktası). Diyagonal doğrultudaki tüm KLF koptuktan sonra numunenin davranışı çıplak çerçevenin davranışına yaklaşmıştır, (Şekil 18'deki D ve E noktaları). Daha ileri yerdeğiştirme düzeylerinde kolonlardaki kayma çatlaklarının genişlemesi ile numune dayanımını kaybetmiştir. IC-C1-1-10 numunesinin hasar gelişimi Şekil 20'de sunulmuştur. Kolon boyuna donatıları bindirmeli ekli olan IL-C1-1-10 numunesinde de hasar IC-C1-1-10 numunesine benzer şekilde gelişmiştir. Diyagonal doğrultudaki KLF yaklaşık %0.8 (tepe yerdeğiştirmesi 23.5 mm) öteleme oranında duvardan ayrılmış ve kopmuştur, (Şekil 19'da A ve B noktaları). Tuğlaların ezilmesi ve son diyagonal KLF güçlendirme

elemanının kopması ile deney sonlandırılmıştır, (Şekil 19'da C noktası). IL-C1-1-10 numunesinin hasar gelişimi Şekil 21'de sunulmuştur.

Numunelerin davranışlarının daha kolay karşılaştırılabilmesi için tüm numunelerin yük-yerdeğiştirme ilişkilerinin zarf eğrileri Şekil 22'de verilmiştir.

## **Sonuçlar**

½ Ölçekli numunelerin sabit düşey yükler ve yön değiştiren tekrarlı yatay yükler altında denenmesinden sonra şu sonuçlara ulaşılmıştır.

İkinci kat betonarme çerçevesinde ve bölme duvarında belirgin bir hasar gözlenmemiştir. Tüm numunelerde hasar ilk katta yoğunlaşmıştır. İlk kattaki hasar daha çok kolon üst bölgelerinde ve dolgu duvarlarında görülmüştür. Bunun nedeni veren yüklerini iki kata dağıtmak için kullanılan rijit çelik kirişin üst katın davranışına olan etkisidir.

Dolgu duvarlı numunelerin yatay yük kapasitesi ve rijitliği çıplak çerçevelerden belirgin şekilde yüksektir. Çıplak çerçevelerde hasar kolon-kiriş düğüm noktaları ve birinci kat kolonlarının alt bölgelerinde yoğunlaşırken, dolgu duvarlı çerçevelerde kolon yüksekliğince eğilme çatlakları gözlenmiştir. Bu hasar oluşumu, bölme duvarların çerçeve davranışını, perde duvar tipi davranışa dönüştürdüğünü göstermektedir.

Dolgu duvarlarda az sayıda diyagonal çatlak oluşmuş olmakla birlikte güçlendirme öncesi dolgu duvarlarda gözlenen en önemli hasar duvar köşelerinde gözlenen ezilmelerdir. Bu ezilmeler sonrası bölme duvarların numunelerin yatay yük taşıma kapasitesine olan katkısı önemli oranda azalmaktadır.

KLF ile yapılan güçlendirme sonrasında duvarlarda daha önce gözlenmiş olan köşe ezilmeleri önlenmiş, diyagonal doğrultudaki çatlakların tüm duvara yayılması sağlanmıştır. Deney sonunda dolgu duvarlar önemli oranda hasar görmesine karşılık bütünlüğünü korumuştur.

Temele ve betonarme elemanlara bağlantı sağlamak amacı ile kullanılan ve KLF'den oluşturulan ankraj elemanları deney sonuna kadar başarılı olarak çalışmıştır. Dolgu duvarın iki tarafındaki KLF güçlendirme elemanlarını birbirine bağlayan KLF ankrajlar da deneyin ileri aşamalarına kadar diyagonal doğrultuda güçlendirme amaçlı kullanılan KLF'in duvardan ayrılmamasını sağlamıştır.

## **Üç Açıklıklı Deneyler**

Bu grupta, I575 projesi çerçevesinde toplam iki adet deney yapılmıştır. Birbirinin aynı olan iki adet deney numunesinden ilkinde (U1), her iki kattaki orta gözler betonarme perde duvar ile doldurulmuştur (Şekil 23). İkinci numunede ise (U2), yine her iki kattaki orta gözler boşluklu tuğla duvar ile doldurularak her iki yüzeye çapraz şekilde KLF uygulanmıştır (Şekil 24). Uygulanan betonarme perde duvarın dayanımının boş çerçevenin dayanımının (boş çerçeve sonuçları [36]'dan alınmıştır) yaklaşık beş katı olduğu görülmüştür. KLF ile güçlendirilen boşluklu tuğla dolgu duvar deneyin sonunda ise güçlendirilmiş çerçeve dayanımının, perde duvarla güçlendirilmiş çerçeve dayanımına yakın olduğu görülmüştür. Bu serideki deneylerin sonuçları Tablo 4' de verilmiştir. Boş çerçeve ile güçlendirilmiş çerçeveler ait zarf eğrileri ise Şekil 25'da gösterilmiştir

# TUĞLA DUVARLARIN ÖNÜRETİMLİ PANELLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Bilinen malzemelerin kullanıldığı bu güçlendirme yöntemi ile binaların daha etkili ve kullanıcılarını çok daha az rahatsız edecek biçimde güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemde tuğla duvarların betonarme dolgu duvar ile değiştirilmesi yerine mevcut tuğla duvarın her iki tarafına yerleştirilecek önüretimli paneller ile betonarme dolgu duvar oluşturulması hedeflenmiştir. Önüretimli paneller mevcut kiriş, kolon ve döşemeye bağlanacaktır. Bu deneylerde aşağıdaki parametreler araştırılmıştır:

- Önüretimli Panel Sayısı – Güçlendirilen yapının özelliklerine göre, (i) tek ve görece kalın (80 – 100 mm) panel tuğla duvarın tek tarafına veya (ii) iki ince (40-50 mm) panel tuğla duvarın iki yanında kullanılabilir.
- Panel Boyutları ve Geometrisi – Önüretimli paneller iki işçinin taşıyabileceği kadar küçük olmalıdır. Bu paneller birleştirildiğinde uygun boyutlarda ve geometride olmalıdır. Bu deney serisi için çok sayıda alternatif geliştirilebilir.
- Bağlantı Detayları – Bu konunun en önemli ve karmaşık bölümü bağlantı detaylarıdır. Bağlantılar rijit dolgu duvar davranışının oluşabilmesini sağlayacak kadar güçlü olmalıdır. Ayrıca uzman işçilik gerektirmeyecek kadar basit; son olarak da ekonomik olmalıdır. Çeşitli bağlantı detayları geliştirmek için çeşitli alternatifler denenmiştir.

Bu deneyler tek açıklıklı iki katlı, düşey vaziyetteki elemanlar üzerinde yapılmıştır.

## ***Dikey tek açıklıklı iki katlı çerçeve deneyleri***

Bu çerçevelerin donatıları, Türkiye'deki yapıların eksik ve zayıflıklarını temsil edecek tipte Şekil 26'da verilen detay ile üretilmiştir. Test edilen çerçevelerde her iki kattaki açıklıkta tuğla duvarlarla doldurulup, duvarlara sıva yapılmıştır. Tüm deney elemanlarında, her iki kolonun üzerine 6 ton eksenel yük uygulanmıştır. Güçlendirme elemanı olarak kullanılan altı farklı tip önüretimli panel Şekil 28 - Şekil 31'de gösterilmektedir. Ayrıca üretimi yapılan beş tip için de Fotoğraf 1 - Fotoğraf 4 verilmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi, Tip-1 (Şekil 28) ve Tip-2 (Şekil 29) paneller arasındaki bağlantı kayma kaması denilen çıkıntılarla sağlanmakta olup, Tip-3 (Şekil 30), Tip-4 (Şekil 31), Tip-5 (Şekil 30) ve Tip-6 (Şekil 31) panellerde bu kayma anahtarları bulunmamaktadır. Tip-5 panelin Tip-3'den ve Tip-6 panelin Tip-4'den farkı ise, Tip-5 ve Tip-6 panellerle güçlendirilen çerçevelerde kolonlara da temel kirişine olduğu gibi ø8'lik demirler panellerin arasına gelecek şekilde ankire edilmektedir. Tip-3'de ise güçlendirilen çerçevede sadece temel kirişine ø8'lik demirler panel aralarına gelecek şekilde ankire edilmektedir.

Bu serideki referans çerçeve deney düzeneğine, çerçevenin üst katının yükleme düzleminde kalması için yükleme düzlemine dik yönde yanal destek verecek bir sistem eklenmiştir. Çerçeve sistemine eklenen bir adaptör sayesinde çerçeveye uygulanan yatay yükün 2/3'ü üst kolon – kiriş birleşim bölgesine, 1/3'ü de alt kolon – kiriş birleşim bölgesine uygulanması sağlanmıştır.

İlk çerçeve, birinci tip panellerle (Tip 1) güçlendirilmiştir. Panellerin çerçeveye bağlantıları, her panelin dört kenarından uzanan  $\varnothing 4$ 'lük demirlerin, kolon ve kirişlere ankre edilen  $\varnothing 6$ 'lık nervürlü demirlere kaynatılması ve de her bir panelin arka kısmında, kenarlar ve orta noktaya olmak kaydıyla toplam beş noktaya uygulanan SİKADUR 31 adlı yapıştırıcı özellikteki macunla sağlanmıştır. Tip 1 panellerle güçlendirilen bu çerçeve deneyinde, paneller çerçeve ile monolitik bir davranışta bulunmuş olup, tüm çerçeve perde duvar davranışı göstermiştir.

İkinci çerçeve, ikinci tip panellerle (Tip 2) güçlendirilmiştir. Panellerin çerçeveye bağlantıları, her panelin dört kenarından uzanan  $\varnothing 4$ 'lük demirlerin, kolon ve kirişlere ankre edilen  $\varnothing 6$ 'lık nervürlü demirlere kaynatılması ve de her bir panelin arka kısmında, kenarlar ve orta noktaya olmak kaydıyla toplam beş noktaya uygulanan SİKADUR 31 adlı yapıştırıcı özellikteki macunla sağlanmıştır. Tip 2 panellerle güçlendirilen bu çerçeve deneyinde, paneller çerçeve ile monolitik bir davranışta bulunmuş olup, tüm çerçeve perde duvar davranışı göstermiştir.

Üçüncü çerçeve deneyi, Tip-3 panellerle güçlendirilmiştir. Panellerin çerçeveye bağlantıları, her bir panelin kenarlarına ve arka kısmında, kenarlar ve orta noktaya olmak kaydıyla toplam beş noktaya uygulanan SİKADUR 31 adlı yapıştırıcı macunla sağlanmıştır. Temel kirişi düzeyinde, her bir panelin arasına gelmek kaydıyla  $\varnothing 8$ 'lik nervürlü demirler çerçeveye ankire edilmiştir. Tip-3 panellerle güçlendirilen bu çerçeve deneyinde, Tip-1 ve Tip-2 deneylerinden farklı olarak hasar 1.kat kolon-kiriş birleşim noktalarında ve 1.kat panellerinde yoğunlaşmıştır. Deneyin ilerleyen safhalarında kolon-panel ve kiriş-panel bölgelerinde ayrılmalar gözlenmiştir. Bu farklı davranışın sebebi de panellerin çerçeveye kaynakla değil de, SİKADUR 31 adlı macunla yapıştırılmış olmasıdır.

Dördüncü çerçeve, Tip-4 panellerle güçlendirilmiştir. Panellerin çerçeveye bağlantıları, her bir panelin kenarlarına ve arka kısmında, kenarlar ve orta noktaya olmak kaydıyla toplam beş noktaya uygulanan SİKADUR 31 adlı yapıştırıcı macunla sağlanmıştır. Temel kirişi düzeyinde, her bir panelin arasına gelmek kaydıyla  $\varnothing 8$ 'lik nervürlü demirler çerçeveye ankire edilmiştir. Tip-4 panellerle güçlendirilen bu çerçeve deneyinde, Tip-3 deneyindeki gibi hasar 1.kat kolon-kiriş birleşim noktalarında ve 1. kat panelinde yoğunlaşmıştır. Deneyin ilerleyen safhalarında kolon-panel ve kiriş-panel bölgelerinde ayrılmalar gözlenmiştir.

Beşinci çerçeve, Tip-5 panellerle güçlendirilmiştir. Panellerin çerçeveye bağlantıları, her bir panelin kenarlarına ve arka kısmına, kenarlar ve orta noktaya olmak kaydıyla toplam beş noktaya uygulanan SİKADUR 31 adlı yapıştırıcı macunla sağlanmıştır. 1. kat kolon ve temel kirişi düzeyinde, her bir panelin arasına gelmek kaydıyla  $\varnothing 8$ 'lik nervürlü demirler çerçeveye ankire edilmiştir. Bu deneyin Tip-3 deneyinden farkı 1.kat kolonlarına ankire edilen  $\varnothing 8$ 'lik nervürlü demirlerdir. Tip-5 panellerle güçlendirilen bu çerçeve deneyinde, Tip-3 ve Tip-4 deneylerindeki gibi hasar 1.kat kolon-kiriş birleşim noktalarında 1.kat panellerinde yoğunlaşmıştır. Bu deneyde altıncı ve yedinci deneylerden farklı olarak güney kolonu dibinde ezilme, kolon donatısında burkulma olmuştur. Deneyin ilerleyen safhalarında kolon-panel ve kiriş-panel bölgelerinde ayrılmalar gözlemlenmiştir.

Test edilen son çerçeve, Tip-6 panellerle güçlendirilmiş ve yapılan deney başarıyla sonuçlandırılmıştır. Panellerin çerçeveye bağlantıları, her bir panelin kenarlarına ve arka kısmında, kenarlar ve orta noktaya olmak kaydıyla toplam beş noktaya uygulanan SİKADUR 31 adlı yapıştırıcı özellikteki macunla sağlanmıştır. 1. kat kolon, 1. kat kiriş ve temel kirişi düzeyinde, her bir panelin arasına gelmek kaydıyla  $\varnothing 8$ 'lik nervürlü demirler çerçeveye ankire edilmiştir. Bu deneyde hasar temel kirişi seviyesinde yoğunlaşmıştır.



Referans çerçeve, Tip-1, Tip-2, Tip-3, Tip-4, Tip-5 ve Tip-6 panellerle güçlendirilmiş çerçeve deneylerindeki malzeme dayanımları Tablo 5’de, bu altı deneyin sonuçlarının karşılaştırması Tablo 6’de verilmektedir. Deney sonuçlarının irdelenmesi Şekil 32 ve Şekil 33’de verilmiştir. Panellerle güçlendirilen çerçeveler, referans çerçeveye göre tatmin edici bir şekilde daha iyi yatay yük davranışı sergilemişlerdir. Çerçevelerin yük kapasitelerinin yanında, süneklikleri de iyileştirilmiştir. Şekil 32 ve Şekil 33’de de görüldüğü üzere, güçlendirilmiş çerçevelerin yük kapasiteleri artarken, sertlik azalmalarında gözle görülür bir gecikme olmaktadır. Bu güçlendirilmiş çerçevelerin çok daha sünek bir davranış gösterdiğini belirtmektedir.

### ***Dikey tek açıklıklı tek katlı çerçeve deneyleri***

Bu çerçevelerin donatıları, Türkiye’deki yapıların eksiklik ve zayıflıklarını temsil edecek tipte Şekil 34’da verilen detay ile üretilmiştir. Test edilen çerçevelerde boşluklar tuğla duvarlarla doldurulup, duvarlara sıva yapılmıştır. Bu deney grubunda bir adet referans deneyi ve dört adet güçlendirilmiş çerçeve deneyi yapılmıştır. Hazırlanan tek kat tek açıklıklı çerçevelerden iki tanesi Tip-3, diğer iki tanesi ise Tip-4 panellerle güçlendirildikten sonra deneye tabi tutulmuştur (Tablo 8). Bu çalışmadaki amaç panel dayanımının çerçeve davranışı üzerindeki etkisini gözlemlemektir. Bu amaçla hazırlanan panellerin malzeme özellikleri Tablo 9’da özetlenmiştir. Çerçeveler, daha önce çerçevenin deney düzlemine dik deplasman yapma olasılığına karşın çerçeveye, yükleme düzlemine dik yönde, yanal destek verecek bir sistemin eklenmesi suretiyle geliştirilmiş olan deney düzeneğinde teste tabi tutulmuşlardır. Bu deneylerde kolon başına 3’er tonluk aksel yük uygulanmıştır. Bu değer, kolonların aksel yük kapasitesinin %10’u civarında bir değere tekabül etmektedir. Dökümü yapılan zayıf donatılı çerçevelerin beton mukavemeti, Türkiye’deki yapılarda kullanılan betonu temsilen, 13 MPa olarak hedeflenmiş ve çerçevelerin 28 günlük mukavemetlerinin, hedeflenen değere yakın olduğu gözlenmiştir.

Tek katlı tek açıklıklı çerçeve deneylerinde yatay yükün tamamı birinci kat kolon – giriş bölgesine uygulanmıştır. Bu şekilde, yönetmeliğimizde yer alan ve deprem yüklerini temsil eden üçgen dağılımlı yatay yük, sabit aksel kolon yükleriyle birlikte çerçeveye uygulanmıştır. Betonarme paneller çerçeve kolon ve girişlerine  $\Phi 10'$  luk nervürlü donatı ile bağlanmıştır. Ankraj derinliği kolon ve girişler için 8 cm’ dir.

### **Deney Sonuçları**

- ***S1 Çerçevesi Deney Sonuçları***

Şekil 35’de yük-deplasman eğrisi verilen S1 çerçevesi, 31 Mpa dayanımlı Tip-3 panellerle güçlendirilmiş tek kat - tek açıklıklı çerçevedir. Tip-3 panel: 740x105x20 mm boyutlarında,  $\Phi 3/50$  mm hasır donatı ile üretilmiş şerit şeklinde betonarme paneldir. Deneye 6 tonluk yatay yük ile başlanmıştır. Bu deneyde ilk çatlaklar 3. yatay yük çevriminde gözlemlenmiştir. 8 tonluk yatay yük altında, kolon diplerinde ve kolon-giriş birleşimlerinde çatlaklar oluşmuştur. İlk diyagonal panel çatlağı ise 4. çevrimde (9 ton) oluşmuştur. Yüklemin ileri aşamalarında bu çatlakların gerek sayıları gerekse genişlikleri artması suretiyle çerçeve 16 ton’ da yatay yük kapasitesine ulaşmıştır. Bu maksimum yatay yük altında 5,5 mm yatay deplasman ölçülmüştür. Yatay yük kapasitesine erişildikten sonra, deneye deplasman kontrollü olarak devam edilmiş olup, 31 mm maksimum yatay deplasmanda deney sonlandırılmıştır. Fotoğraf 5’de çerçevenin deney öncesi görünümü ve Fotoğraf 6’de çerçevenin deney sonrası görünümü sunulmuştur.

- *S2 Çerçevesi Deney Sonuçları*

Şekil 36'da yük-deplasman eğrisi verilen S2 çerçevesi 47 Mpa dayanımlı Tip-3 panellerle güçlendirilmiş tek kat - tek açıklıklı betonarme çerçevedir. Bu deneye diğer tüm deneylerde olduğu gibi 6 ton' luk yatay yük çevrimi ile başlanmıştır. 4. yatay yük çevriminde (9 ton) temel-duvar ara yüzünde çok ince çatlaklar gözlemlenmiş olsa da kayda değer büyüklükteki ilk çatlaklar 6. çevrimde yani 11 tonluk yatay yük altında oluşmuştur. Bu yük altında, kolon dibinden yaklaşık 30-35 cm yukarıda çatlaklar oluşmuştur. İlk diyagonal panel çatlaklarının ise 9. çevrimde (14 ton) oluştuğu gözlemlenmiştir. Çerçeve 19.6 ton yatay yük kapasitesine sahip olup, bu yükte 6,2 mm deplasman ölçülmüştür. Bu noktadan sonra deneye deplasman kontrollü olarak devam edilmiş ve 21 mm maksimum deplasmanda deney sonuçlanmıştır. Çerçevenin deney öncesi görünümü S1 ile aynı olduğu için görüntünün burada tekrar verilmesine gerek görülmemiş ve Fotoğraf 7'de çerçevenin deney sonrası görünümü sunulmuştur. Ayrıca deney sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla, Şekil 37'de S0 (referans deney), S1 ve S2 elemanlarının zarf eğrileri aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Şekil 37'de verilen zarf eğrileri panel dayanımının Tip-3 panellerle güçlendirilmiş çerçeve davranışı üzerindeki etkisini göstermektedir. Zarf eğrileri panel dayanımının artmasıyla birlikte yatay yük kapasitesinin de arttığını göstermektedir. Bununla birlikte, güçlendirilmiş çerçevelerin, referans çerçevenin yaklaşık 2 katı yatay yük taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.

- *S3 Çerçevesi Deney Sonuçları*

Şekil 38'de yük-deplasman eğrisi verilen S3 çerçevesi 32 Mpa dayanımlı Tip-4 panellerle güçlendirilmiş tek kat tek açıklıklı betonarme çerçevedir. Tip-4 panel 320x245x20 mm boyutlarında,  $\Phi 3/50$  mm hasır donatı ile üretilmiş dikdörtgen şekilli betonarme paneldir. Bu çerçeve deneyine de yine diğer deneylerde olduğu gibi 6 tonluk yatay yük ile başlanmıştır. Bu deneyde, 2. yük çevriminde (7 ton) kolon diplerinde ilk kılcal çatlaklar gözlemlenmişse de kayda değer ilk büyük çatlaklar 7. çevrimde (12 ton) kolon-kiriş birleşim bölgelerinde gözlemlenmiştir. İlk panel çatlağı da 10. çevrimde (15 ton) oluşmuştur. Çerçeve 18.6 ton da yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmış olup, bu yük altındaki deplasman 6.1 cm olarak ölçülmüştür. Bu aşamadan sonra deneye deplasman kontrollü olarak devam edilmiş olup, 35 mm maksimum deplasmanda deney sonuçlandırılmıştır. Fotoğraf 8'de çerçevenin deney öncesi görünümü ve Fotoğraf 9'da çerçevenin deney sonrası görünümü sunulmuştur.

- *S4 Çerçevesi Deney Sonuçları*

Şekil 39'da yük-deplasman eğrisi verilen S4 çerçevesi 47 Mpa dayanımlı Tip-4 panellerle güçlendirilmiş tek kat tek açıklıklı betonarme çerçevedir. Deneyin 3. çevriminde (8 ton) kolon diplerinde kılcal çatlaklar gözlemlenmiş olup, 8. çevrimde (13 ton) kolon-kiriş birleşim yerlerinde büyük boyutta çatlak ve ayrılmalar oluşmaya başlamıştır. İlk panel çatlaklarının ise 13. çevrimde (18 ton) oluştuğu gözlemlenmiştir. Çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi 21,8 ton olup, bu yükteki yatay deplasman 8,5 mm olarak ölçülmüştür. Bu noktadan sonra deneye deplasman kontrollü olarak devam edilmiş olup, 26 mm maksimum deplasmana ulaşıldığında deney sonlandırılmıştır. S4 çerçevesinin

deney sonrası görünümü Fotoğraf 10'da verilmektedir. Ayrıca Şekil 40'da S0, S3 ve S4 çerçevelerine ait zarf eğrileri gösterilmektedir.

Şekil 40'da verilen zarf eğrileri panel dayanımının Tip-4 panellerle güçlendirilmiş çerçeve davranışı üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu eğrilerden panellerin çerçeve davranışını iyileştirdiği açıkça görülmektedir. Tip-4 panellerle güçlendirilmiş çerçevelerin, yalnızca tuğla dolgu referans çerçevenin ortalama 2,3 katı yatay yük taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.

## **Sonuçlar**

Bu çalışma panel dayanımının çerçeve davranışı üzerindeki etkisini gözlemlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışma kapsamında 5 adet deney yapılmıştır. Güçlendirilmiş olan çerçevelerin tuğla dolgu referans çerçeveye oranla yatay yük kapasitesi, rijitlik, enerji sönmeme kapasitesi gibi değerlerinde önemli miktarlarda iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Yukarıda verilen zarf eğrilerinde bu iyileşmeler oldukça açık bir biçimde görülmektedir. Deneylerde Tip-4 panellerle güçlendirilmiş çerçevelerin Tip-3 panellerle güçlendirilmiş özdeş çerçevelere kıyasla daha büyük yatay yük kapasitelerine eriştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca ilk çatlak oluşumları Tip-3 panellerle güçlendirilmiş çerçevelerde, Tip-4 panellerle güçlendirilmiş çerçevelere göre daha erken yük çevrimlerinde gözlemlenmiştir.

Deneyler neticesinde, panel dayanımının çerçeve davranışı üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Panel dayanımı arttıkça, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinde de artış olduğu görülmüştür. Ayrıca çatlak oluşumları daha yüksek dayanımlı panellerle güçlendirilmiş çerçevelerde, daha düşük dayanımlı panellerle güçlendirilmiş çerçevelere kıyasla daha ileri yük çevrimlerinde başlamıştır. Yapılan genel değerlendirme Tablo 10' te özetlenmiştir. Ayrıca Tablo 11' te güçlendirilmiş çerçeve deneyi sonuçları referans çerçeve deneyi ile karşılaştırılmıştır.

## **KLF İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BOŞLUKLU TUĞLA DOLGU DUVAR DENEYLERİ**

KLF şeritlerle güçlendirilen boşluklu tuğla dolgu duvarın yük taşıma kapasitesine katkısını görmek amacıyla 10 adet panel deneyi yapılmıştır. Bu deneylerde 70×70 cm boyutlu kare tuğla duvarlar diyagonal doğrultuda yüklenerek taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Bu elemanlardan 2 adet sıvasız, 2 adet sıvalı ve 6 adet sıvalı ve KLF şeritlerle farklı doğrultularda güçlendirilmiş olmak üzere toplam 10 adet eleman test edilmiştir. Deney düzeneği Şekil 41'de verilmiştir. Deney sonuçları Tablo 7'de verilmektedir.

## KLF ANKRAJ DENEYLERİ

Bu proje kapsamında iki ayrı tip ankraj doğrusal aksenal çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Bu deneyleri yapmaktaki amaç, farklı özellikler sahip (değişik ankraj derinliği ( $h$ ), ankraj genişliği ( $w$ ), beton basınç dayanımı ( $f_c$ ) ve ankraj delik çapı ( $d$ )) sahip KLF ankrajların aksenal çekme dayanımlarını belirlemektir. Bu deneyleri gerçekleştirebilmek için farklı basınç dayanımına sahip beton bloklar hazırlanmıştır. Hazırlanan bu beton bloklara ankrajları yerleştirmek için matkaplarla delikler açılmıştır. KLF ankrajlar bu deliklere yerleştirilmeden önce delikler özenle temizlenmiştir. Temizlenen deliklere yerleştirilen ankrajlar betona epoksi adı verilen bir yapışkan ile sabitlenmiştir. KLF ankrajların beton dışında kalan uzantısı da bir çelik çubuğa yine epoksi yardımıyla çubuğu saracak şekilde tutturulmuştur. Bu çelik çubuk aracılığıyla bir hidrolik pompa yardımıyla ankraja aksenal çekme kuvveti uygulanmıştır. Uygulanan kuvvetin değeri bir yük hücresi sayesinde ölçülmüştür. Bu deneyler sırasında kullanılan deney düzeneği Şekil 42’de gösterilmiştir. KLF ankrajları deneye tabi tutulmak için Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere iki farklı şekilde hazırlanmıştır.

### Tip 1

Bu tip ankrajlar, KLF tabakalar kendi etraflarında dairesel bir şekil alacak biçimde yuvarlanarak hazırlanmıştır (Şekil 43). Yuvarlanarak şekil verilen KLF tabakaların bu formunu koruyabilmesi için iç içe ankrajlar ince şeritler halinde kesilmiş tabakalar yardımıyla bağlanmak suretiyle sabitlenmiştir. Daha sonra yuvarlanan KLF tabakaların bir ucundan bir cm’lik bir bölümü donup sertleşmesi için epoksiye batırılmıştır. Bu bir cm’lik kısmın donup sertleşmesinden sonra KLF ankrajın belirlenen ankraj derinliğine eşit olan bir bölümü epoksiye batırılıp uç kısmındaki sert kısımdan ince bir tel yardımıyla deliğin içine doğru itilmiştir (Şekil 44a). Deliğe yerleştirilen ankrajın beton dışında kalan kısmı da yine epoksi yardımıyla çelik bir çubuğa tutturulmuştur. Bu çelik çubuk vasıtasıyla ankraja çekme kuvveti uygulanmıştır ve bu çelik çubuk delik ağzına kadar uzanmaktadır (Şekil 44b). Ankrajın çubuğa bağlanan bölümünün uzunluğu bu kısmın uygulanan çekme kuvveti altında sıyrılıp kaymasını engelleyecek şekilde seçilmiştir. KLF ankrajlar düz bir çelik çubuğa tutturulmuştur ve bağlantı boyu en az ankraj derinliğinin iki katı olacak şekilde belirlenmiştir.

Tablo 12’te verilen sonuçlar Tip 1 ankraj deneylerine aittir. Bu tablonun ilk kolonunda deneye tabi tutulan ankrajların özellikleri verilmiştir. Buna göre  $w$  KLF tabakasının milimetre cinsinden genişliğini,  $h$  KLF ankrajın milimetre cinsinden derinliğini,  $f$  ankrajın saplandığı beton bloğun MPA cinsinden basınç dayanımını ve  $d$  ankrajın yerleştirildiği deliğin milimetre cinsinden çapını simgelemektedir. Tablo 12’te ayrıca maksimum çekme kapasiteleri kN cinsinden verilmiştir. Bulunan maksimum çekme kapasiteleri kullanılan KLF tabakasının kalınlığı, genişliği ve fiberlerin maksimum çekme gerilmelerinin çarpımı sonucu ( $P_{FRP}=w \times t \times \sigma_{FRP}$ ) bulunan değerle normalize edilmiştir. Bu değerler KLF tabakayı üreten firmalardan tedarik edilmiştir. Deneylerde kullanılan KLF tabakaların özellikleri Tablo 13’te verilmiştir. Son olarak Tablo 12’te ankrajların kırılma yüklerinin yanı sıra kırılma tipleri de belirtilmiştir.

## Tip 1 Deney Sonuçları

- **Delik çapının etkisi ( $d$ ):** Bir yüzeye yapıştırılan ankrajlarda yapıştırılan yüzeye yük aktarımı ankraj boyunca etkili olan tutkal sayesinde gerçekleşir. Beton bir yüzeye yapılacak böyle bir uygulamada tutkal üreticileri yapışkanın etkili olabilmesi için yapıştırılan yüzeyler arasında 2-3 mm boşluk bırakılmasını tavsiye etmektedirler. Bu deneysel çalışmada delik çapının bir parametre olarak seçilmesinin amacı 2-3 mm'ye ek olarak fazladan bırakılan boşluk miktarının ankrajın eksenel çekme kapasitesine bir etki yapıp yapmadığını saptamaktır. Bunu yapmak için delik çapı 12 mm, 14 mm ve 16 mm olarak belirlenmiş ve diğer değişkenler sabitken delik çapları artırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 45'de verilmiştir. Bu şekilde normalize edilmiş maksimum çekme kapasitesi - delik çapı ilişkisi gösterilmiştir. Bu deneyde kullanılan KLF tabakasının genişliği 120 mm, ankraj derinliği 150 mm, ve beton dayanımı 16 MPa olarak seçilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi ankraj kapasiteleri hemen hemen aynı olup ankraj çapındaki değişikliğe bağlı olarak kapasitede bariz bir artma veya azalma olmamıştır.
- **Beton basınç dayanımının etkisi ( $f_c$ ):** Şekil 46'de gösterilen grafik 160 mm tabaka genişliğine, 100 mm derinliğe ve 14 mm delik çapına sahip KLF ankrajların test sonuçlarına aittir. Normalize edilmiş çekme kuvveti kapasiteleri 0.31 ile 0.33 arasında değişim göstermektedir. Görüldüğü gibi beton dayanımına bağlı artış ihmal edilecek kadar küçük boyuttadır.
- **KLF tabakası genişliğinin etkisi ( $w$ ):** Bilindiği üzere KLF tabakasının genişliği KLF ankrajın kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Aradaki bu ilişkiyi daha iyi anlayabilmek için KLF tabakasının genişliğine karşın maksimum çekme kapasitesi Şekil 47'te gösterilmiştir. Şekil 48'da ise aynı deney sonuçlarının normalize edilmiş hali verilmektedir. Beklenildiği gibi tabaka genişliği arttıkça çekme kapasitesinin arttığı gözlenmiştir. Ancak bu artışın doğrusal olmadığı anlaşılmıştır. Çekme kapasitesindeki artış oranıyla tabaka genişliğindeki artış oranı aynı değildir.
- **Ankraj derinliğinin etkisi ( $h$ ):** Literatürde ankraj davranışı üzerine yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu daha çok ankraj derinliğinin etkisi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada da ankraj derinliğinin etkisini gözlemleyebilmek için ankraj derinliği diğer parametreler sabitken 70 mm'den 100 mm ve 150 mm'ye çıkarılmıştır. Şekil 49 ve Şekil 50'te görüldüğü üzere ankraj çekme kapasitesi derinlik 70 mm'den 100 mm'ye çıkarılınca artış göstermektedir. Ancak, 150 mm'deki çekme dayanımları 100 mm'dekine oranla daha düşüktür.

## Tip 2

İkinci tip ankrajlar, Tip 1 ankrajlardan farklı olarak çelik çubuğa yapıştırılmış haliyle tamamen dışarıda hazırlanıp deliğin içine yerleştirilmiştir. Tip 2 ankrajlarını hazırlamak için öncelikle KLF tabakası istenen ölçülerde kesilip epoksi ile kaplanmıştır (Şekil 51). Daha sonra KLF tabakası silikon ve çelik çubuklar etrafında sarılarak ankraj hazırlanır (Şekil 52). Silikon çubuğun boyu, seçilen ankraj derinliğinden bir santimetre kadar uzun seçilmiştir ve silikon çubuk ile çelik çubuğun çapları eşittir. Bu işlem tamamlandıktan sonra silikon çubuk etrafına sarılan kısım deliğe yerleştirilip yine epoksi yardımıyla betona tutturulur. Silikon çubuğun boyunun biraz uzun olmasının sebebi delik ağzında oluşabilecek gerilme yığılmalarını

engelleyebilmektir. Tip 2 ankrajlarının testlerinden elde edilen deney sonuçları, normalize edilmiş halleriyle ve kırılma tipleriyle beraber Tablo 14'te verilmiştir.

## Tip 2 Deney Sonuçları

- **Beton basınç dayanımının etkisi ( $f_c$ ):** Şekil 53'de bütün ankraj derinliklerine (50 mm, 70 mm, 100 mm ve 150 mm) ait deney sonuçlarının normalize edilmiş hali verilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi maksimum çekme kapasitesi yine 100 mm derinliğe sahip ankrajlarda elde edilmiştir. Grafikte gösterilen verilere bakıldığında 50 mm derinliğe sahip ankrajların her iki beton dayanımında da benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak derinlik arttıkça beton dayanımının yarattığı etki daha açık olarak gözlemlenmiştir.
- **Ankraj derinliğinin etkisi ( $h$ ):** Şekil 54'de gösterilen deney datası 10 MPa basınç dayanımına sahip beton bloklarda gerçekleştirilen ankrajların normalize edilmiş çekme kapasitelerini göstermektedir. Deney sonuçları göstermiştir ki KLF ankrajın çekme kapasitesi derinlikle beraber artmıştır. Fakat belli bir derinliğe ulaşıldıktan sonra ankraj kapasitesi derinlik arttırılsa bile neredeyse sabit kalmıştır. Bu çalışmadan çıkan sonuca göre etkili derinlik 100 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 54'dekine benzer bir gösterim bu kez 16 MPa'lık basınç dayanımı için Şekil 55'te verilmiştir. Bu beton dayanımı için de aynı davranış gözlenmiştir. Buna göre KLF ankrajların çekme kapasiteleri 100 mm ankraj derinliğine kadar artış gösterip bu derinlikten sonra sabit kalmaktadır.

## KLF Ankrajların Çekme Kapasitelerinin Hesaplanması

KLF ankrajların aksenal çekme kapasitesi Şekil 56'teki kırılma tipi esas alınarak şu şekilde hesaplanabilir:

$$P_{CONE} = 0.33\sqrt{f_c} \left( d + \frac{h}{\tan \theta} \right) \frac{\pi h}{\sin \theta} \quad h < 50 \text{ mm} \quad (1.a)$$

$$P_{CONE} = 0.33\sqrt{f_c} \left( d + \frac{50}{\tan \theta} \right) \frac{\pi \times 50}{\sin \theta} + \tau_{ave} \times \pi d \times (h - 50) \quad h > 50 \text{ mm} \quad (1.b)$$

Yukarıdaki denklemlerde  $f_c$  betonun basınç dayanımını,  $h$  ankrajın derinliğini,  $d$  delik çapını ve  $\tau_{ave}$  beton ile ankraj arasındaki yüzey boyunca oluşan ortalama kesme gerilmesini ifade etmektedir. Bu deneylerde kullanılan malzemelerle yapılan testler göstermiştir ki ortalama kesme kesme gerilmesi yaklaşık olarak 10 MPa'dır. Şekil 56'te verilen modelde betonun kırılma yüksekliği 50 mm alınmıştır ki bu da deneylerden bulunan sonuçlarla birebir örtüşmektedir. Bu yüzden 50 mm'nin üstündeki derinliklerde Denklem 1.b önerilmiştir. Önerilen formüller yardımıyla hesaplanan kapasiteler ile deneyden elde edilen değerlerin karşılaştırılması Tablo 15'de görülebilir. Burada  $P_{CONE}$ , hesaplanan değerleri,  $P_U$  ise deneyde bulunan değerleri ifade etmektedir. Karşılaştırılmada kullanılan  $P_{CONE}$  kırılma açısı  $45^\circ$  alınarak hesaplanmıştır.

### ***KLF Ankraj Deneylerinin Sonuçları***

Tuğla duvarların KLF tabakasıyla kaplanarak uygulanan güçlendirme tekniklerinde hem yığma hem de betonarme yapılarda güçlendirmenin etkili bir biçimde gerçekleştirilebilmesi için KLF ankrajların kullanılması gerekir. KLF ankrajlar sayesinde betonarme sistem ile dolgu duvar arasındaki bağlantı ne kadar iyi olursa binanın davranışı o oranda iyileşir, daha fazla enerji sönmelenmesi ve süneklik sağlanmış olur. Dolayısıyla yapının davranışı doğrudan ankrajın davranışına bağlıdır. Yapılan bu deneysel çalışmada da değişik parametreler etkisinde KLF ankrajların davranışı incelenmiştir. KLF tabakasının genişliği, ankraj derinliği, beton dayanımı ve delik çapı bu parametrelerdir. Bu deneyler ışığında şu sonuçlara varılmıştır.

Gerçekleştirilen deneylerde üç tip kırılma tipi görülmüştür. Bunlar betonun kırılması, ankrajın sıyrılıp çıkması ve ankrajın kopmasıdır. Derinliği az olan ankrajlar uygulanan çekme kuvvetini betona ilettiklerinde beton yeterli dayanımı göstermeyip düşük olan çekme dayanımı yüzünden kırılır. Ankrajın yerleştirilmesi sırasında yapışkan iyi kür edilmediyse veya yetersiz kaldıysa ankraj delikten sıyrılıp çıkar. Eğer ankraj derinliği yeterliyse ve epoksi doğru şekilde hazırlanıp sorunsuz bir yapıştırma yapıldıysa maksimum çekme kapasitesi ankraj kırılana kadar not edilen kuvvettir.

Seçilen parametreler ışığında KLF ankrajların maksimum eksenel çekme kapasiteleri 100 mm'lik bir derinliğe sahip ankrajlarda gözlenmiştir ve daha derin ankrajlarda bu değer sabit kalmaktadır. Bu da etkili derinliğin 100 mm olduğunu gösterir. Ayrıca ankrajın çekme kapasitesindeki artış 100 mm'ye kadar derinlikle doğrusal olarak artmaktadır.

50 mm gibi derinliği az olan ankrajlarda 10 MPa ve 16 MPa basınç dayanımına sahip beton bloklarda gerçekleştirilen deneylerde görülmüştürki basınç dayanımının bu derinlikte etkisi ihmal edilebilecek düzeydedir. Ancak ankraj derinliği arttıkça beton dayanımının da etkisi artış göstermektedir.

KLF ankrajların eksenel çekme kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılan Denklem 1'in en iyi sonucu kırılma açısının  $45^\circ$  olarak kabul edilmesi durumunda elde edildiği görülmüştür.

# EK – 1 TABLOLAR

**Tablo 1 KLF ile Güçlendirilmiş Tek Açıklıklı İki Katlı İkiz Elemanların Test Sonuçları**

	Beton Dayanımı (MPa)	Maksimum Yük (kN)	Maksimum yük (A1 e oranı)	İlk Sertlik (kN/m)	İlk Sertlik (A1 e oranı)
<b>A1</b>	19.48	56.76	1.00	33,750	1.00
<b>A2</b>	15.28	62.18	1.16	29,860	0.89
<b>A3</b>	12.88	64.93	1.11	32,840	0.97
<b>A4</b>	17.35	131.46	2.35	40,400	1.20
<b>A5</b>	12.00	115.25	2.13	38,010	1.13
<b>A6</b>	14.70	100.39	1.77	38,285	1.13
<b>A7</b>	17.54	105.67	1.86	38,670	1.15

**Tablo 2 1/2 Ölçekli Numunelerin Genel Özellikleri**

Numune	f <sub>c</sub> (MPa)	Bölme duvarı	Kolon boyuna donatısı	Güçlendirme
<b>BC-0-1-14</b>	14.0	Yok	Sürekli	Hayır
<b>BL-0-1-8.6</b>	8.6	Yok	Bindirmeli ekli	Hayır
<b>IC-0-1-11</b>	11.0	Var-sıvalı	Sürekli	Hayır
<b>IL-0-1-17</b>	17.0	Var-sıvalı	Bindirmeli ekli	Hayır
<b>IC-C1-1-10</b>	10.0	Var-sıvalı	Sürekli	İki yüze diyagonal doğrultularda CFRP
<b>IL-C1-1-8.6</b>	8.6	Var-sıvalı	Bindirmeli ekli	İki yüze diyagonal doğrultularda CFRP ve kolonlarda bindirmeli ek bölgelerinin CFRP ile sarılması

**Tablo 3 1/2 Ölçekli Numunelerde Kullanılan KLF Özellikleri**

Lif türü	Lif yönü	Ağırlık (g/m <sup>2</sup> )	Kalınlık (mm)	Çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Elastisite modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Kopma uzaması
<b>Yüksek dayanımlı karbon</b>	0° (tek yön)	220± 10%	0.12	4100	231000	1.7%

**Tablo 4 Üç Açıklıklı İki Katlı Elemanların Test Sonuçları**

Eleman	Boş*	U1	U2	U1/Boş	U2/Boş	U1/U2
<b>Yanal Mukavemet (+) (kN)</b>	14.0	70.6	64.7	5.0	4.6	1.1
<b>Yanal Mukavemet (-) (kN)</b>	13.0	70.6	70.3	5.4	5.4	1.0
<b>İlk Rijitlik (kN/mm)</b>	2.1	30.0	22.5	14.3	10.7	1.3
<b>Max.yükte yanal ötelenme oranı(%)</b>	1.9	0.9	0.7	0.5	0.4	1.3

\* referans [36] den alınmıştır



**Tablo 5 Tek Açıklıklı İki Katlı Elemanların Malzeme Dayanımları**

Eleman	Beton/Sıva Dayanımı (MPa)			Çeliğin Akma Dayanımı (MPa)		
	Çerçeve	Panel	Sıva	Φ4	Φ6	Φ8
PR	16.6	---	6.5	220	378	330
Tip-1	18.2	32.5	6.5	220	378	330
Tip-2	13.0	38.1	6.2	220	378	330
Tip-3	15.6	33.4	4.9	220	---	330
Tip-4	16.2	32.0	5.4	220	---	330
Tip-5	17.3	47.6	3.3	220	---	330
Tip-6	19.8	45.6	3.3	220	---	330

**Tablo 6 Tek Açıklıklı İki Katlı Elemanların Test Sonuçları**

Eleman	Maksimum Yükle		İlk Sertlik (kN/mm)
	Yük (kN)	Deplasman (mm)	
PR	79	6.2	~43.5
Tip-1	193	10.7	~123.5
Tip-2	198	12.9	~123.4
Tip-3	195	7.0	~118.7
Tip-4	193	10.7	~109.8
Tip-5	207	13.4	~112.7
Tip-6	213	7.8	~125.3
Tip-1/PR	~2.5	~1.7	~2.8
Tip-2/PR	~2.5	~2.1	~2.8
Tip-3/PR	~2.5	~1.1	~2.7
Tip-4/PR	~2.4	~1.7	~2.5
Tip-5/PR	~2.6	~2.2	~2.6
Tip-6/PR	~2.7	~1.3	~2.9

**Tablo 7 Tuğla Dolgu Duvar Deneylerinin Sonuçları**

Deney Elemanı	Maksimum yük (ton)
MP-WP-1	6.58
MP-WP-2	6.14
MP-P-1	13.3
MP-P-2	14.5
MP-CFRP-LD-1	15.9
MP-CFRP-LD-2	12.7
MP-CFRP-PLD-1	----
MP-CFRP-PLD-2	22.7
MP-CFRP-CR-1	21.9
MP-CFRP-CR-2	20.8

**Tablo 8 Tek Açıklıklı Tek Katlı Eleman Özellikleri**

Eleman	Eleman Özelliği
S0	Tek kat tek açıklıklı betonarme referans çerçeve
S1	31 Mpa dayanımlı Tip-3 panellerle güçlendirilmiş tek kat tek açıklıklı çerçeve
S2	47 Mpa dayanımlı Tip-3 panellerle güçlendirilmiş tek kat tek açıklıklı çerçeve
S3	32 Mpa dayanımlı Tip-4 panellerle güçlendirilmiş tek kat tek açıklıklı çerçeve
S4	47 Mpa dayanımlı Tip-4 panellerle güçlendirilmiş tek kat tek açıklıklı çerçeve

**Tablo 9 Deney Elemanlarına ait Malzeme Dayanımları**

Eleman	Beton Dayanımı (Mpa)			Çelik Akma Dayanımları (MPa)			
	Çerçeve	Panel	Sıva	Φ4	Φ6	Φ8	Φ10 (nervürlü)
S0	15,6	---	3,4	220	---	330	---
S1	12,0	31,0	4,1	220	---	330	518,0
S2	14,7	47,0	5,0	220	---	330	518,8
S3	12,0	32,0	4,6	220	---	330	518,0
S4	16,9	47,0	5,1	220	---	330	518,0

**Tablo 10 Tek Açıklıklı Tek Katlı Elemanların Test Sonuçları**

Eleman	Maksimum İtme Yükünde		Maksimum Çekme Yükünde	
	Yük (ton)	Deplasman (mm)	Yük (ton)	Deplasman (mm)
S0	8,9	3,5	8,2	3,2
S1	15,6	5,1	15,6	6,1
S2	19,6	6,2	19,0	4,9
S3	18,6	6,1	18,6	6,3
S4	21,8	8,5	21,0	7,0

**Tablo 11 Tek Açıklıklı Tek Katlı Elemanların Test Sonuçlarının Referans Deneyle Karşılaştırılması**

Eleman	Maksimum İtme Yükünde		Maksimum Çekme Yükünde	
	Yük (ton)	Deplasman (mm)	Yük (ton)	Deplasman (mm)
S0/S0	1,0	1,0	1,0	1,0
S1/S0	1,8	1,5	1,9	1,9
S2/S0	2,2	1,8	2,3	1,5
S3/S0	2,1	1,7	2,3	2,0
S4/S0	2,5	2,4	2,6	2,2

**Tablo 12 Tip 1 Ankrajların Deney Sonuçları**

<b>Deneyin Adı</b>	<b>P<sub>u</sub> (kN)</b>	<b>P</b>
<i>w80h70f10d12</i>	18.7	
<i>w80h70f10d14</i>	20.0	
<i>w80h70f10d16</i>	16.4	
<i>w80h70f16d12</i>	13.0	
<i>w80h70f16d12</i>	20.1	
<i>w80h70f16d16</i>	22.5	
<i>w80h70f20d12</i>	12.8	
<i>w80h70f20d12</i>	14.2	
<i>w80h70f20d14</i>	16.4	
<i>w80h70f20d16</i>	16.2	
<i>w80h100f10d12</i>	25.4	
<i>w80h100f10d14</i>	15.1	
<i>w80h100f10d16</i>	16.4	
<i>w80h100f16d12</i>	23.9	
<i>w80h100f16d14</i>	15.7	
<i>w80h100f16d14</i>	25.2	
<i>w80h100f16d16</i>	17.7	
<i>w80h100f16d16</i>	17.8	
<i>w80h100f16d16</i>	24.3	
<i>w80h100f20d12</i>	24.1	

<i>w80h100f20d12</i>	25.2
<i>w80h100f20d12</i>	22.0
<i>w80h100f20d14</i>	21.5
<i>w80h100f20d16</i>	19.6
<hr/>	
<i>w80h150f10d12</i>	20.6
<i>w80h150f10d14</i>	21.1
<i>w80h150f10d16</i>	21.7
<hr/>	
<i>w80h150f16d12</i>	12.4
<i>w80h150f16d12</i>	20.1
<i>w80h150f16d14</i>	19.3
<i>w80h150f16d16</i>	10.8
<i>w80h150f16d16</i>	12.3
<i>w80h150f16d16</i>	20.1
<i>w80h150f16d16</i>	27.4
<hr/>	
<i>w80h150f20d12</i>	22.3
<i>w80h150f20d12</i>	20.2
<i>w80h150f20d12</i>	17.1
<i>w80h150f20d12</i>	16.2
<i>w80h150f20d12</i>	30.0
<i>w80h150f20d12</i>	24.4
<i>w80h150f20d14</i>	25.7
<i>w80h150f20d16</i>	12.3

<b>w80h150f20d16</b>	24.8
<b>w120h70f10d12</b>	17.1
<b>w120h70f10d14</b>	16.1
<b>w120h70f10d16</b>	15.1
<b>w120h70f16d12</b>	21.5
<b>w120h70f16d14</b>	24.6
<b>w120h70f16d14</b>	25.1
<b>w120h70f16d16</b>	18.4
<b>w120h70f16d16</b>	20.6
<b>w120h70f20d12</b>	15.6
<b>w120h70f20d12</b>	25.1
<b>w120h70f20d14</b>	21.2
<b>w120h70f20d16</b>	14.7
<b>w120h70f20d16</b>	16.1
<b>w120h70f20d16</b>	21.5
<b>w120h70f20d16</b>	26.0
<b>w120h100f10d12</b>	32.9
<b>w120h100f10d14</b>	29.3
<b>w120h100f10d16</b>	30.0
<b>w120h100f16d12</b>	17.5
<b>w120h100f16d12</b>	22.7
<b>w120h100f16d14</b>	19.0

<b>w120h100f16d14</b>	29.3
<b>w120h100f16d16</b>	17.5
<b>w120h100f16d16</b>	32.5
<b>w120h100f16d16</b>	35.5
<hr/>	
<b>w120h100f20d12</b>	24.7
<b>w120h100f20d12</b>	27.5
<b>w120h100f20d12</b>	27.1
<b>w120h100f20d12</b>	28.6
<b>w120h100f20d14</b>	16.6
<b>w120h100f20d14</b>	17.1
<b>w120h100f20d14</b>	31.4
<b>w120h100f20d14</b>	23.5
<b>w120h100f20d16</b>	19.1
<b>w120h100f20d16</b>	20.1
<hr/>	
<b>w120h150f10d12</b>	21.3
<b>w120h150f10d14</b>	32.3
<b>w120h150f10d16</b>	12.2
<hr/>	
<b>w120h150f16d12</b>	20.6
<b>w120h150f16d12</b>	20.9
<b>w120h150f16d14</b>	22.9
<b>w120h150f16d16</b>	21.0

<b>w120h150f16d16</b>	22.5
<b>w120h150f20d14</b>	35.2
<b>w120h150f20d16</b>	28.9
<b>w160h70f10d12</b>	19.1
<b>w160h70f10d14</b>	17.9
<b>w160h70f10d16</b>	19.2
<b>w160h70f16d12</b>	20.4
<b>w160h70f16d12</b>	28.5
<b>w160h70f16d14</b>	21.9
<b>w160h70f16d16</b>	25.1
<b>w160h70f16d16</b>	23.0
<b>w160h70f20d12</b>	21.3
<b>w160h70f20d14</b>	23.1
<b>w160h70f20d16</b>	13.7
<b>w160h70f20d16</b>	20.7
<b>w160h100f10d12</b>	21.6
<b>w160h100f10d14</b>	30.8
<b>w160h100f10d16</b>	31.3
<b>w160h100f16d14</b>	28.5
<b>w160h100f16d16</b>	28.4
<b>w160h100f20d12</b>	32.8
<b>w160h100f20d12</b>	33.2

<b>w160h100f20d14</b>	27.2
<b>w160h100f20d14</b>	31.2
<b>w160h100f20d16</b>	16.7
<b>w160h100f20d16</b>	22.4
<b>w160h100f20d16</b>	35.6
<b>w160h150f10d12</b>	29.4
<b>w160h150f10d14</b>	22.3
<b>w160h150f10d14</b>	29.9
<b>w160h150f10d16</b>	25.3
<b>w160h150f16d12</b>	27.5
<b>w160h150f16d14</b>	19.0
<b>w160h150f16d14</b>	27.3
<b>w160h150f16d16</b>	14.8
<b>w160h150f16d16</b>	29.4
<b>w160h150f20d12</b>	22.5
<b>w160h150f20d14</b>	23.9
<b>w160h150f20d16</b>	25.5

**Tablo 13 KLF Mekanik Özellikleri**

<b>Özellik</b>	<b>Miktar</b>	<b>Birim</b>
Birim Ağırlık	0.300	kg/mm <sup>2</sup>
Kalınlık	0.165	mm
Çekme gerilmesi	3,430	MPa
Elastik Modul	230,000	MPa



Maksimum birim uzama	0.015	mm/mm
----------------------	-------	-------

Tablo 14 Tip 2 Deney Sonuçları

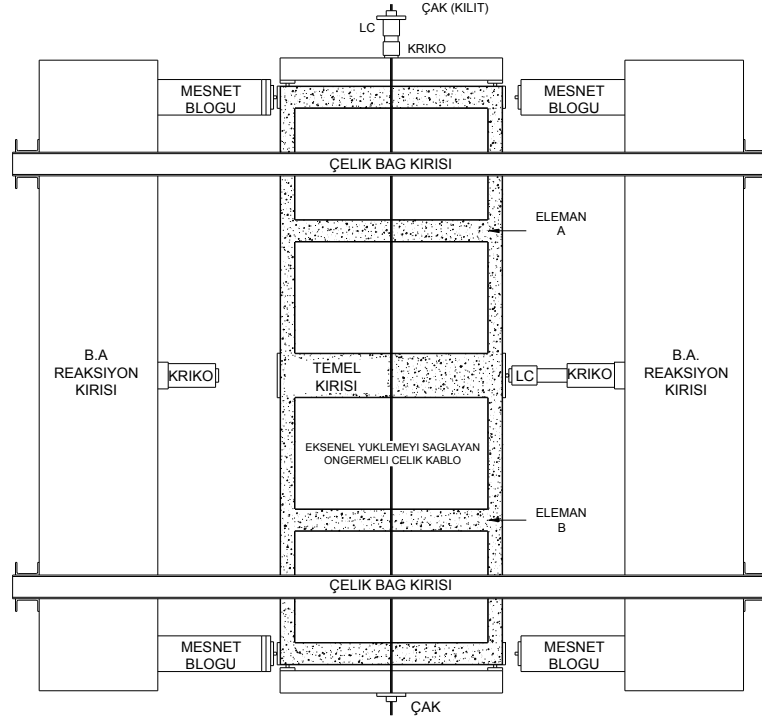
Deneyin Adı	$P_u$ (kN)	$P_u/P_{FRP}$	K
<i>h</i> 50 <i>f</i> 10 <i>d</i> 20	14.6	0.21	E k
<i>h</i> 50 <i>f</i> 10 <i>d</i> 20	15.06	0.22	E k
<i>h</i> 50 <i>f</i> 10 <i>d</i> 20	14.6	0.21	E k
<i>h</i> 70 <i>f</i> 10 <i>d</i> 20	25.6	0.37	a s
<i>h</i> 70 <i>f</i> 10 <i>d</i> 20	22.3	0.33	a s
<i>h</i> 70 <i>f</i> 10 <i>d</i> 20	20.1	0.29	a s
<i>h</i> 100 <i>f</i> 10 <i>d</i> 20	35.5	0.52	a s
<i>h</i> 100 <i>f</i> 10 <i>d</i> 20	29.4	0.43	k
<i>h</i> 100 <i>f</i> 10 <i>d</i> 20	30.4	0.44	a s
<i>h</i> 150 <i>f</i> 10 <i>d</i> 20	29.6	0.43	k
<i>h</i> 150 <i>f</i> 10 <i>d</i> 20	31.4	0.46	k
<i>h</i> 150 <i>f</i> 10 <i>d</i> 20	32.1	0.47	k
<i>h</i> 50 <i>f</i> 16 <i>d</i> 20	16.0	0.23	E k
<i>h</i> 50 <i>f</i> 16 <i>d</i> 20	15.9	0.23	E k
<i>h</i> 70 <i>f</i> 16 <i>d</i> 20	27.93	0.41	a s
<i>h</i> 70 <i>f</i> 16 <i>d</i> 20	26.46	0.39	a

<b>h70f16d20</b>	26.17	0.38	s
<b>h100f16d20</b>	41.65	0.61	a
<b>h100f16d20</b>	34.99	0.51	s
<b>h100f16d20</b>	35.38	0.52	a
<b>h150f16d20</b>	37.04	0.54	s
<b>h150f16d20</b>	34.69	0.51	k
<b>h150f16d20</b>	35.77	0.52	k

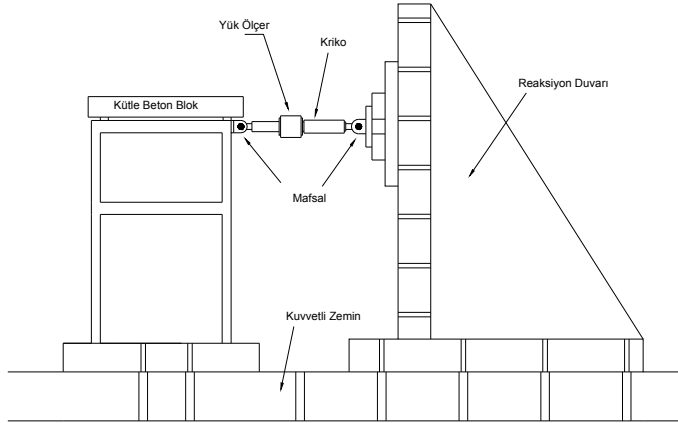
**Tablo 15 Sonuçların Karşılaştırılması**

Deney Tipi	Denk. (1) $\theta=45^\circ$	
	$P_u/P_{CONE}$	$\sigma_{dev} (\%)$
Tip – 2	0.992	10.2

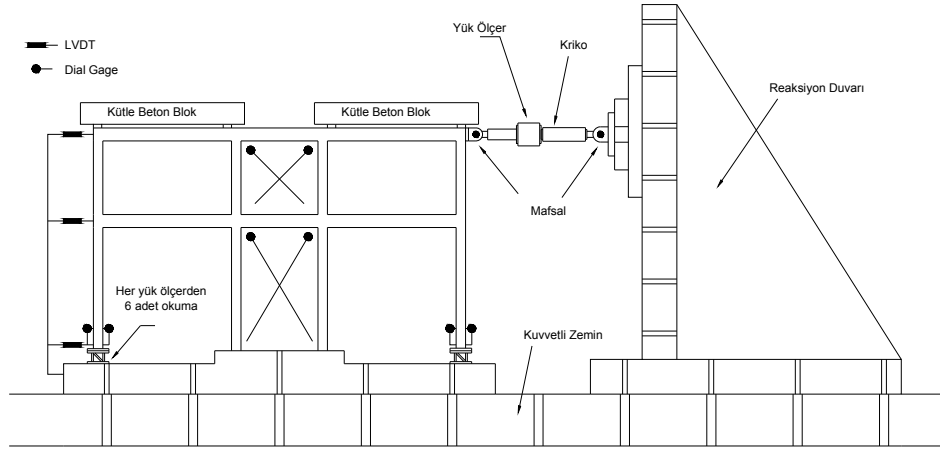
## EK – 2 ŞEKİLLER



Şekil 1 Tek Açıklıklı İkiz Çerçeve



Şekil 2 Tek Açıklıklı Çerçeve



**Şekil 3 Üç Açıklıklı Çerçeve**



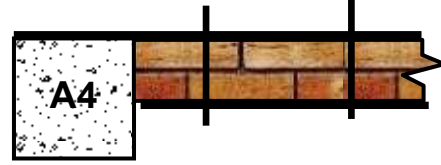
referans çerçeve



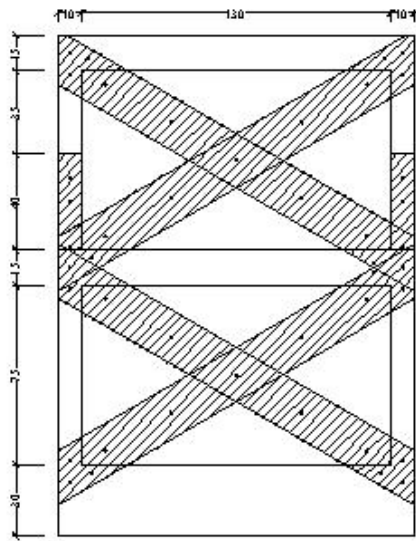
tuğla duvarları KLF ile güçlendirilmiş çerçeve



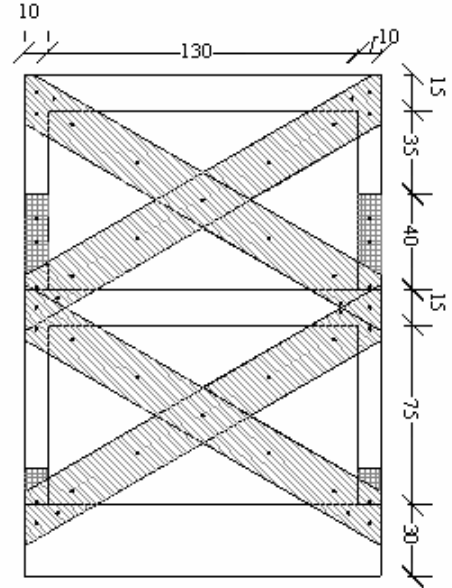
dış yüzeyi KLF ile güçlendirilmiş çerçeve



iki yüzü güçlendirilmiş ankrajlı çerçeve

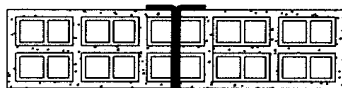


A5 -çapraz şeritli çerçeve

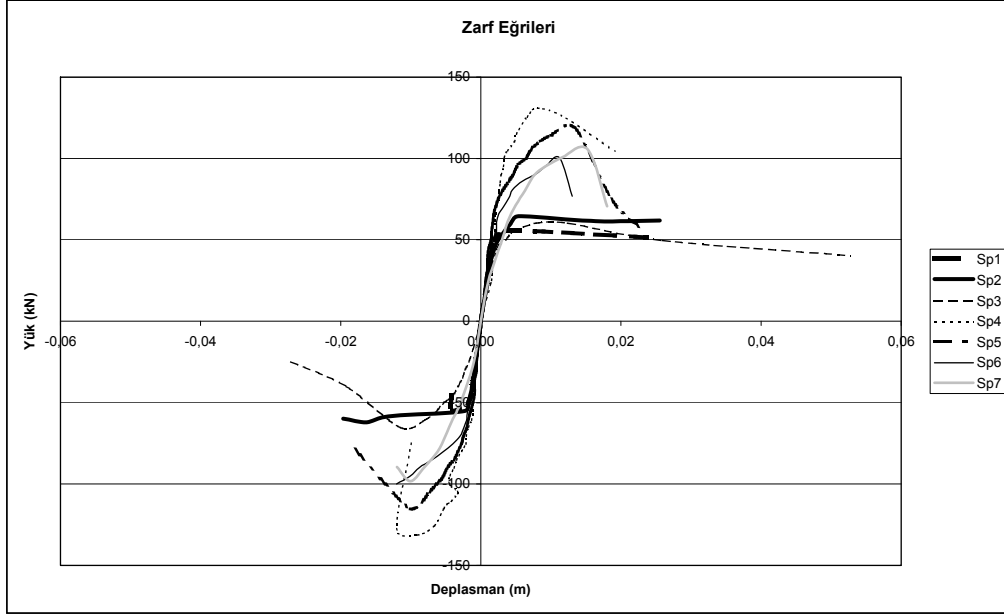


A6 ve A7 – çapraz şeritli çerçeve

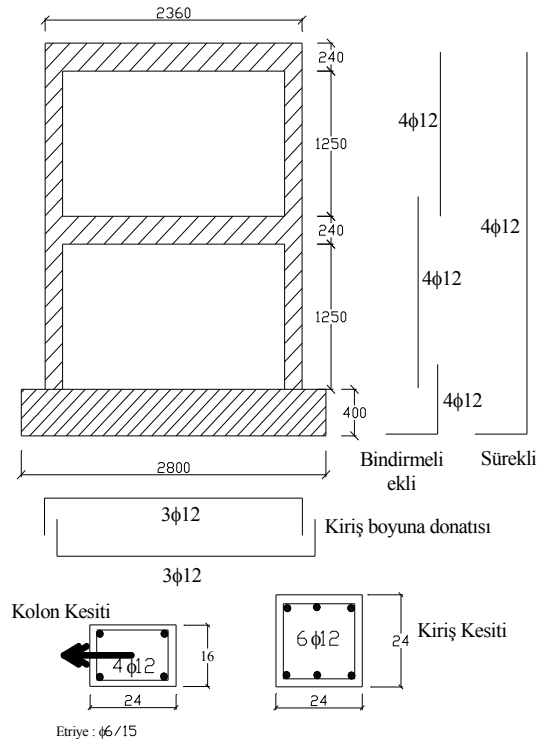
**Şekil 4 Karbon Fiber ile Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar**



**Şekil 5 KLF'yi Tuğla Duvar ve Betona Bağlayan Ankrajlar**



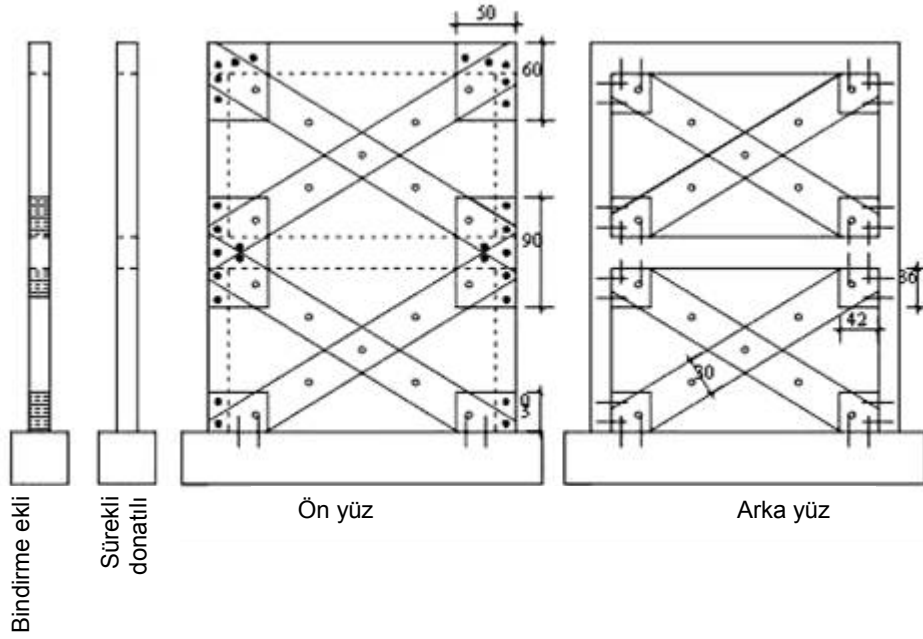
**Şekil 6 KLF ile Güçlendirilmiş İki Katlı Tek Açıklıklı İki Çerçvelerin Zarf Eğrileri**



**Şekil 7 1/2 Ölçekli Numunelerin Boyut ve Donatıları**



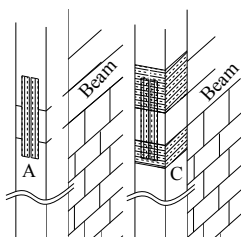
**Şekil 8 1/2 Ölçekli Numunelerin Hazırlanma Aşamaları**



**Şekil 9 1/2 Ölçekli Şekil Deney Elemanlarının Güçlendirme Detayları**



**Şekil 10 1/2 Ölçekli Şekil Numunelere Güçlendirme Uygulaması**

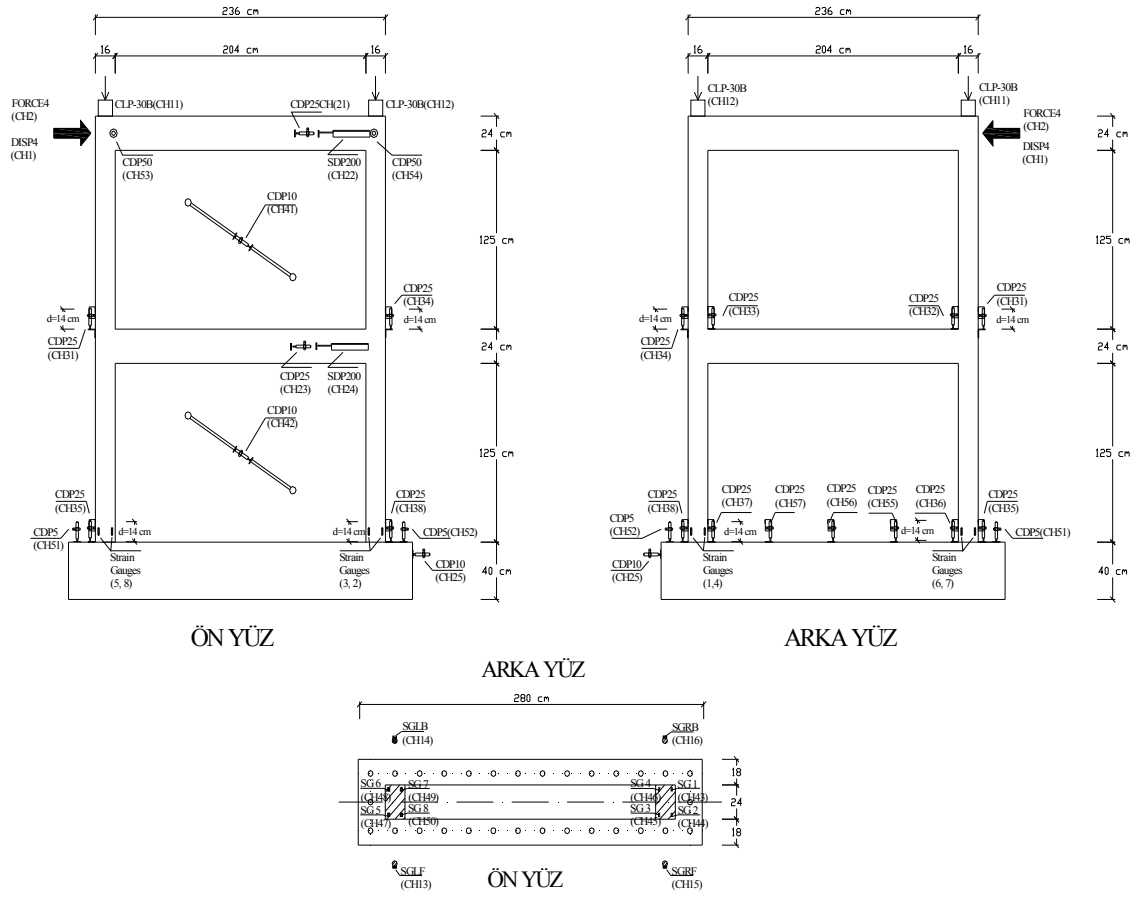




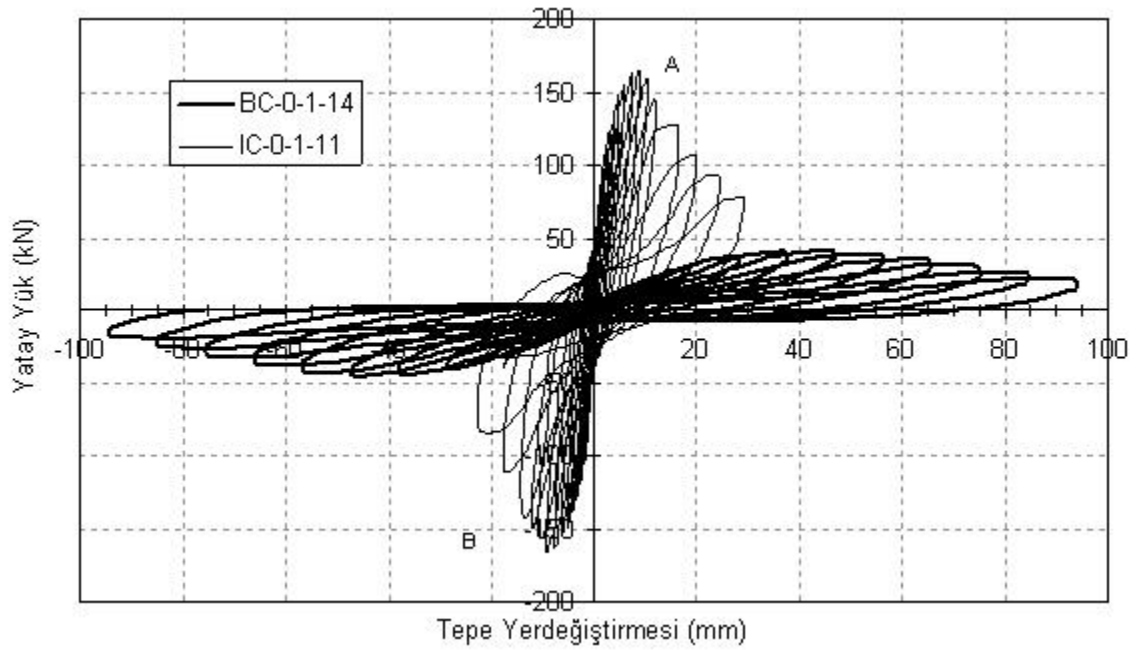
**Şekil 11 1/2 Ölçekli Bindirmeli Ekli Numunede Ek Güçlendirme Adımları**



**Şekil 12 1/2 Ölçekli Numune Yükleme Düzeneği**



Şekil 13 1/2 Ölçekli Numune Ölçüm Sistemi

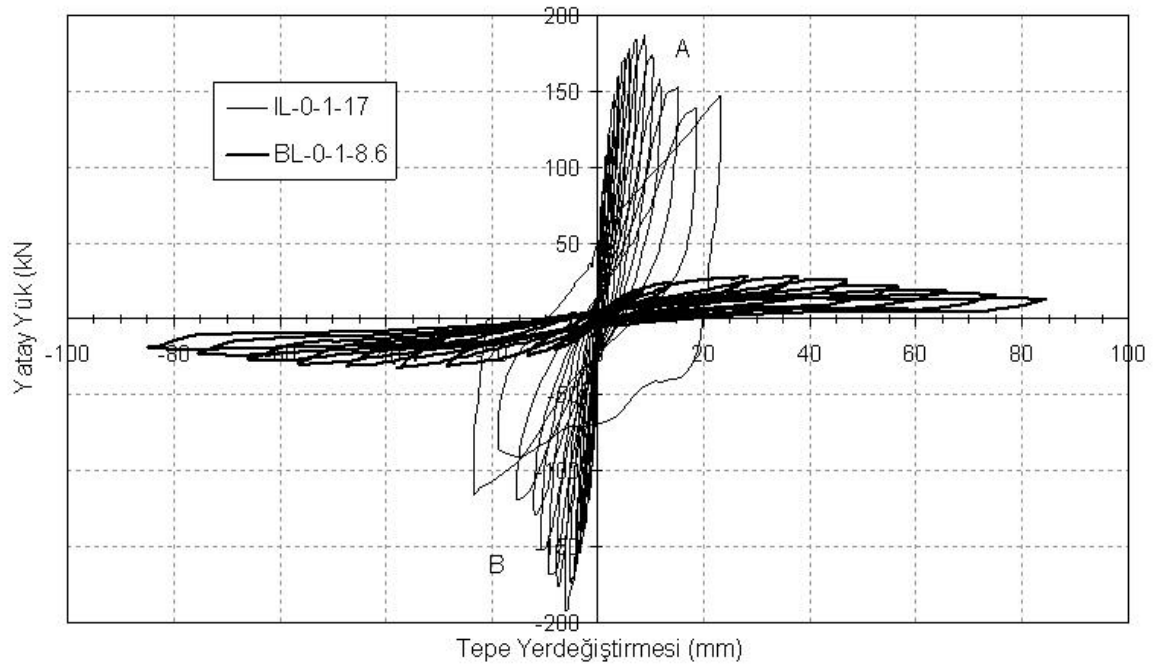


Şekil 14 BC-0-1-14 ve IC-0-1-11 Numuneleri Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri





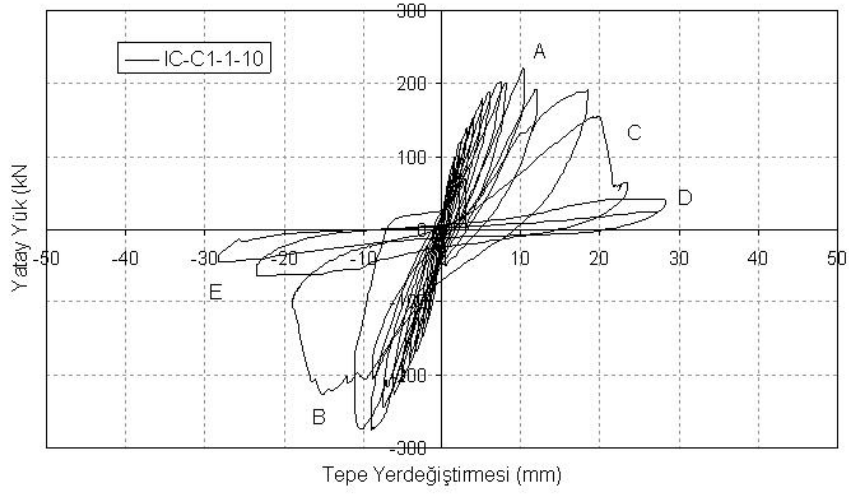
**Şekil 15 IC-0-1-11 Numunesinin Hasar Durumu**



**Şekil 16 BL-0-1-8.6 ve IL-0-1-17 Numuneleri Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri**

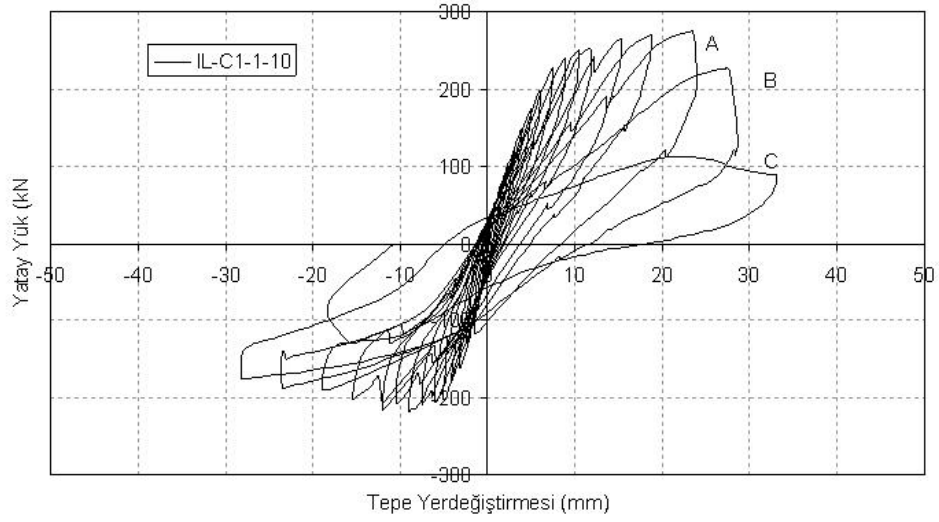


**Şekil 17 IL-0-1-17 Numunesi Hasar Durumu**



**Şekil 18**  
**Numunesi Yükleme-Yerdeğiştirme İlişkisi**

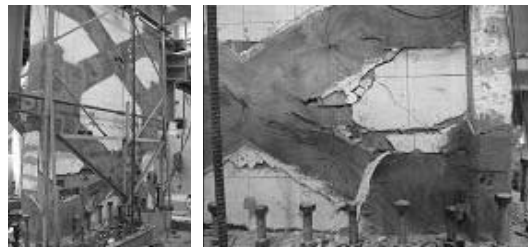
**IC-C1-1-10**



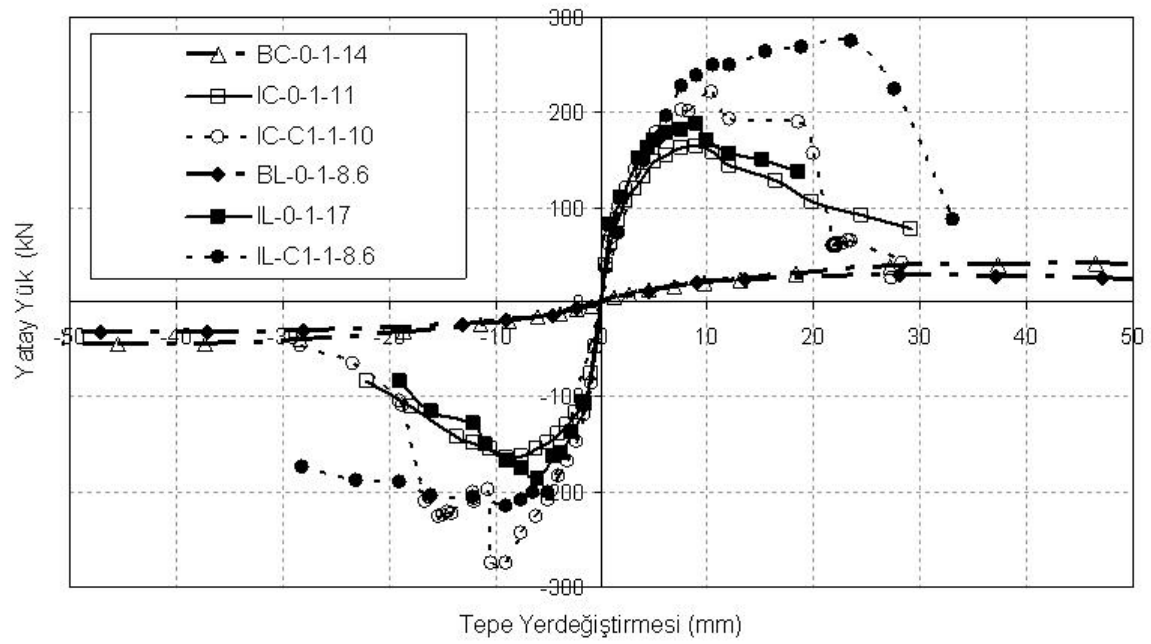
**Şekil 19 IL-C1-1-10 Numunesi Yükleme-Yerdeğiştirme İlişkisi**



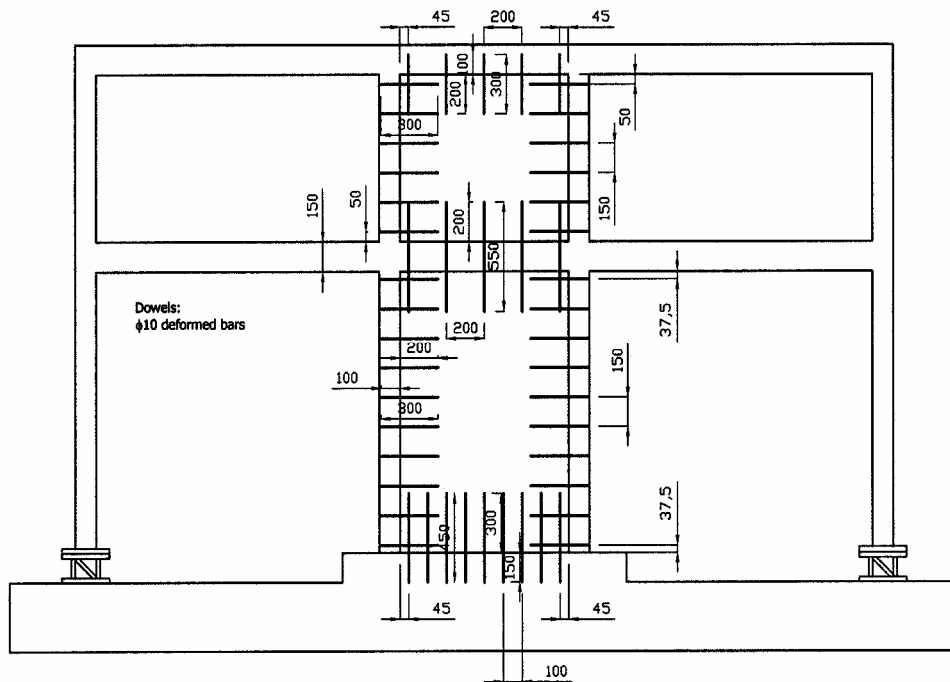
**Şekil 20 IC-C1-1-10 Hasar Gelişimi**



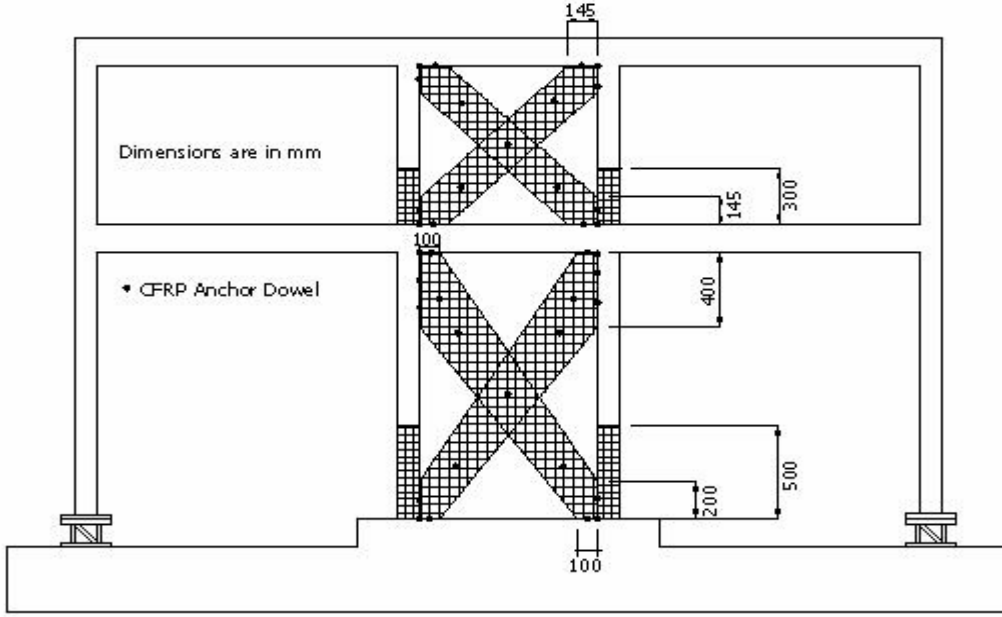
**Şekil 21 IL-C1-1-10 Hasar Gelişimi**



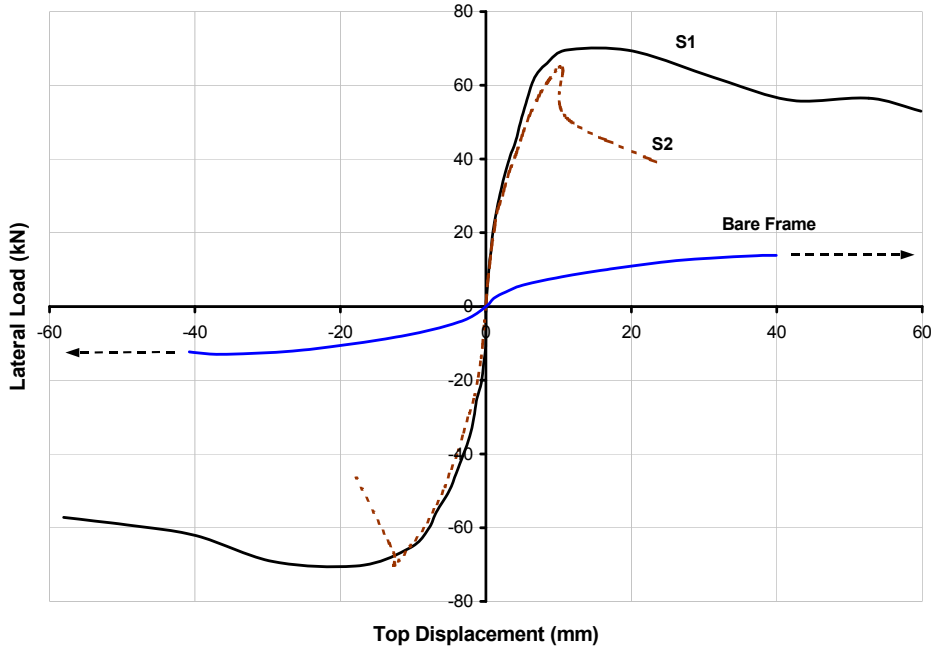
**Şekil 22 1/2 Ölçekli Tüm Numunelerin Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Zarfları**



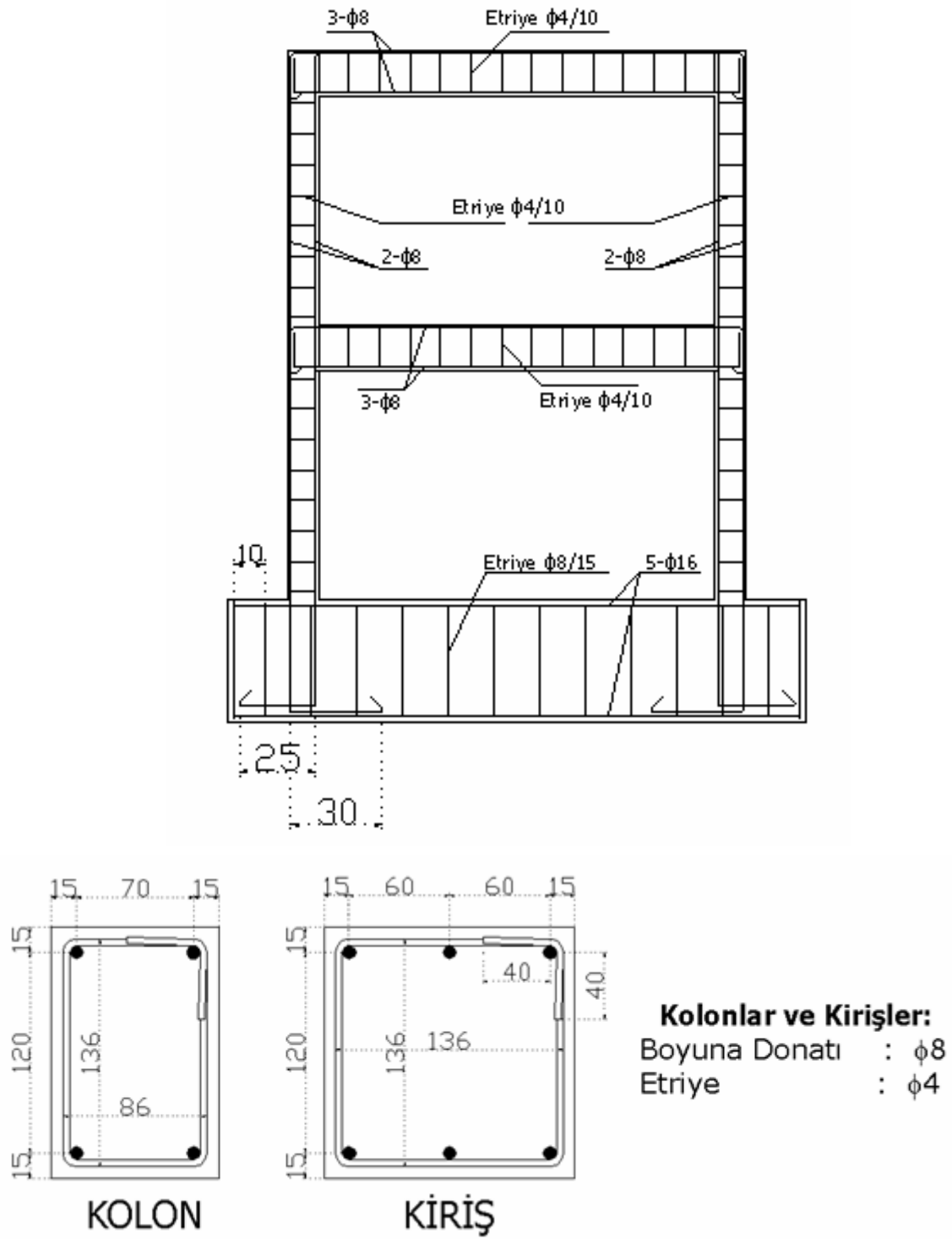
**Şekil 23 Betonarme Perde ile Güçlendirilen İki Katlı Üç Açıklı Çerçeve**



Şekil 24 KLF ile Güçlendirilen Boşluklu Tuğla Duvar Dolgulu İki Katlı Üç Açıklıklı Çerçeve

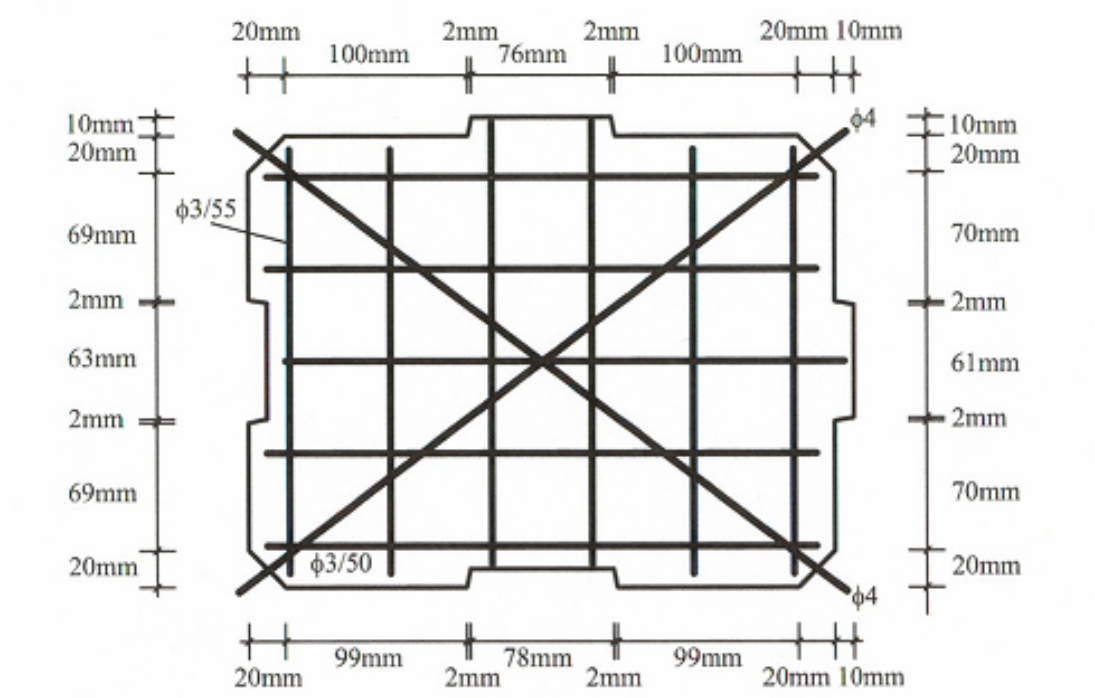


Şekil 25 Boş ve Güçlendirilmiş İki Katlı Üç Açıklıklı Çerçevelerin Zarf Eğrileri (Boş çerçeve sonucu [36]'den alınmıştır)



Şekil 26 Tek Açıklıklı İki katlı Zayıf Çerçeve Detayı

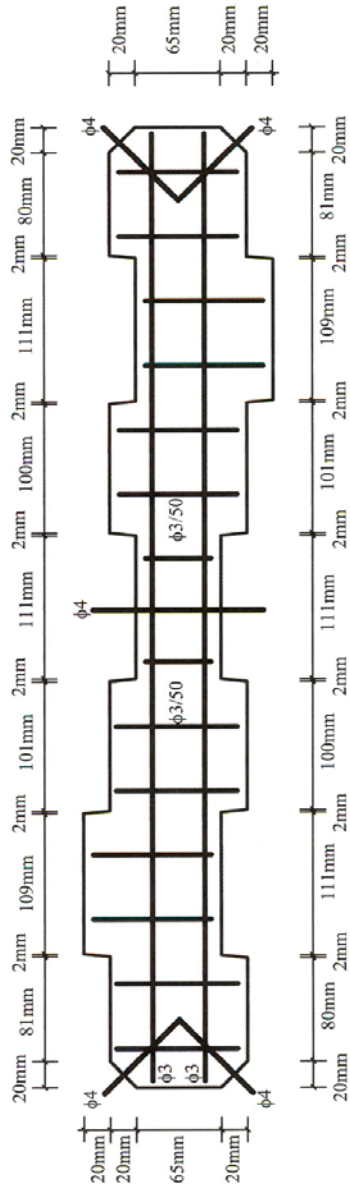




**Şekil 28 Önüretimli Panel Detayı, Tip-1**



**Fotoğraf 1 Tip 1 Panellerin Döküme Hazırlanışı ve Dökümü**



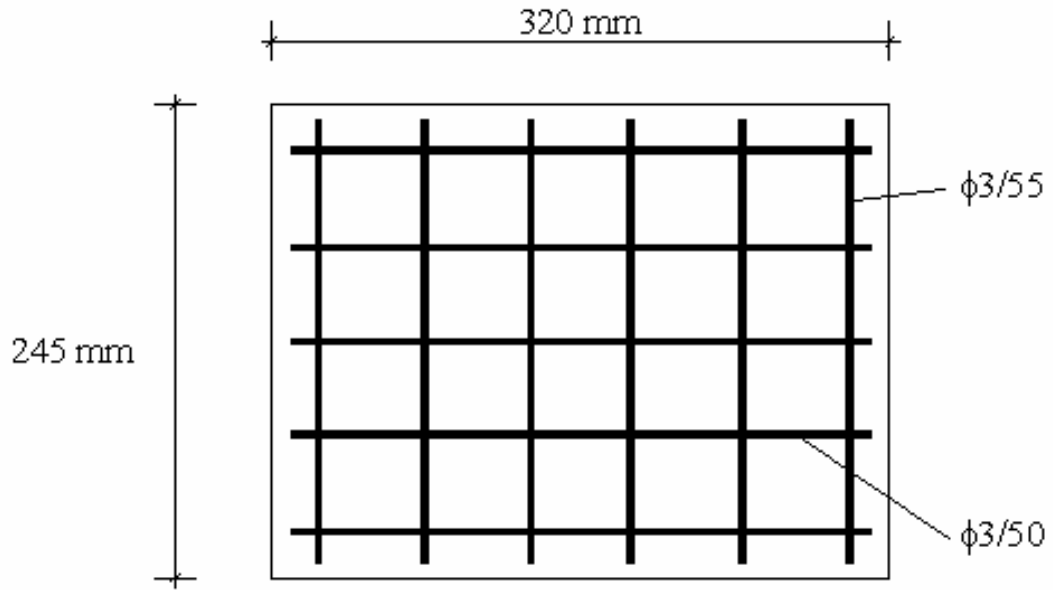
Şekil 29 Önüretimli Panel Detayı, Tip-2



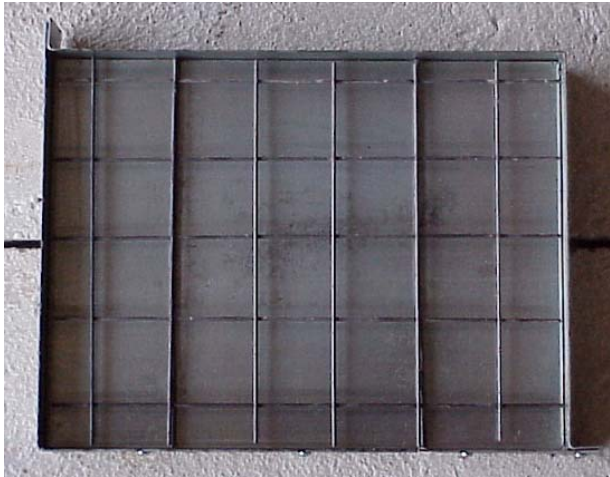
Fotoğraf 2 Önüretimli Panel Detayı, Tip-2



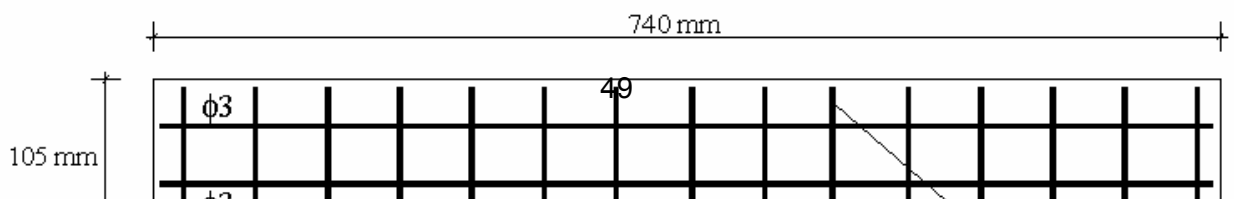




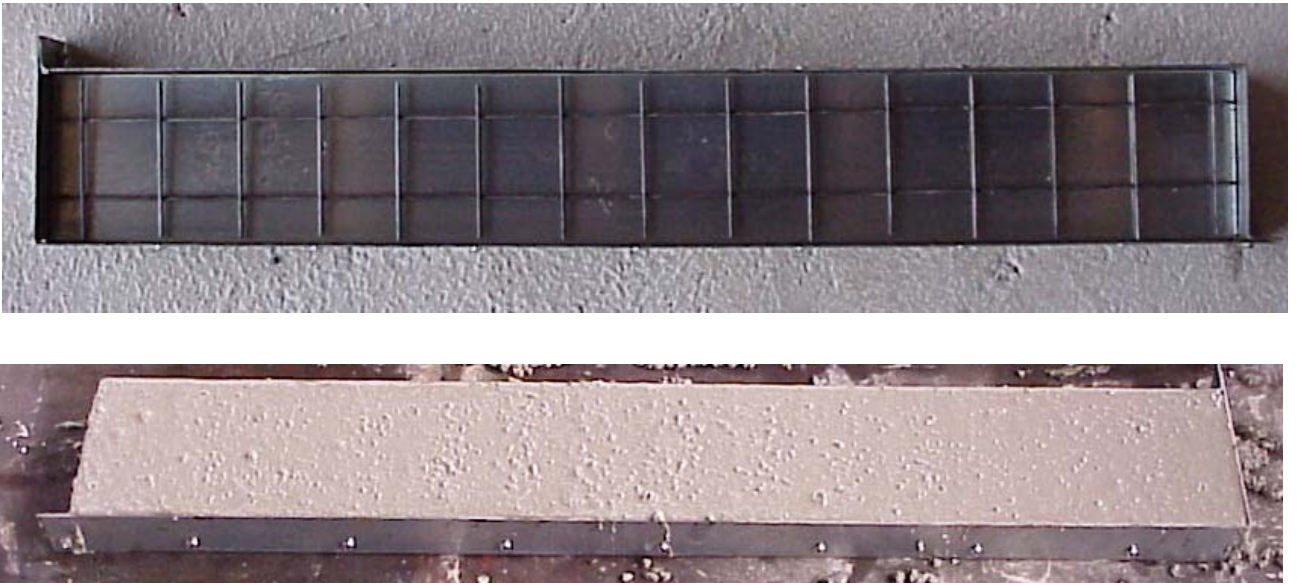
**Şekil 30 Önüretimli Panel Detayı, Tip-3 ve Tip-5**



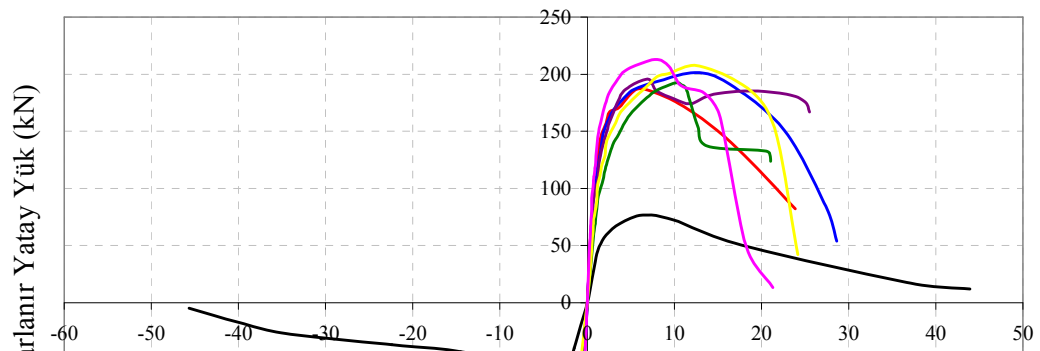
**Fotoğraf 3 Tip-3 ve Tip-5 Panellerin Döküme Hazırlanışı ve Dökümü**



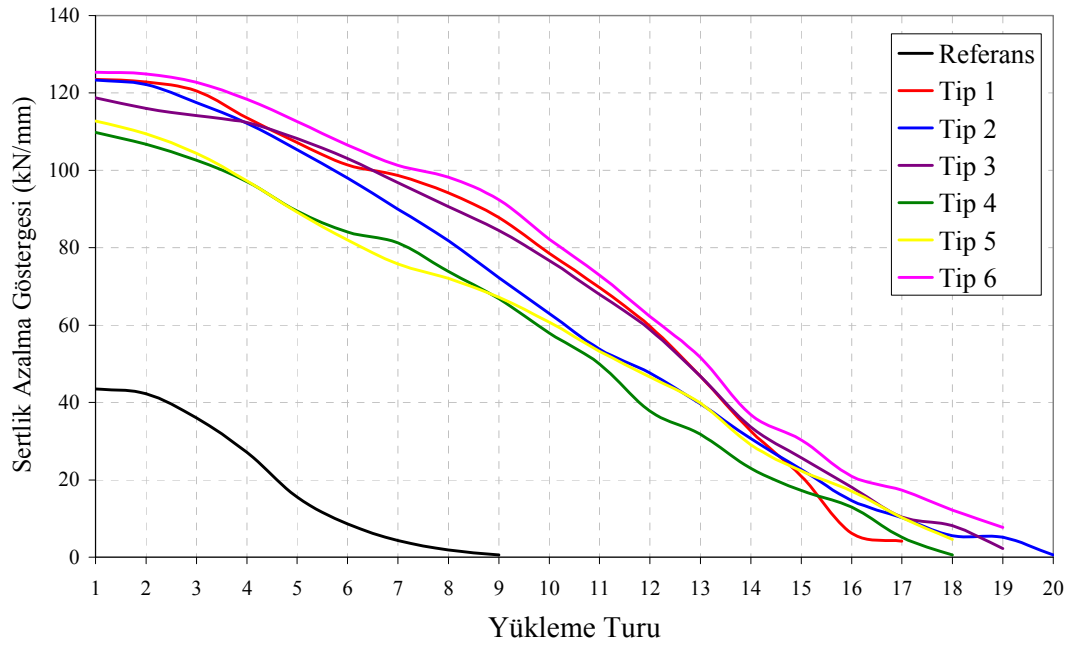
**Şekil 31 Önüretimli Panel Detayı, Tip-4 ve Tip 6**



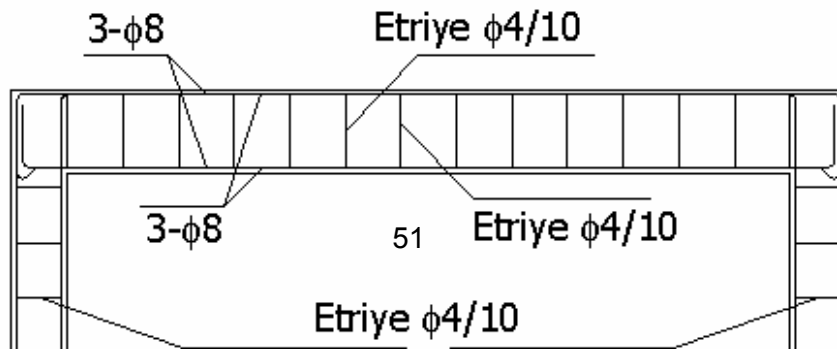
**Fotoğraf 4 Tip-4 Panellerin Döküme Hazırlanışı ve Dökümü**

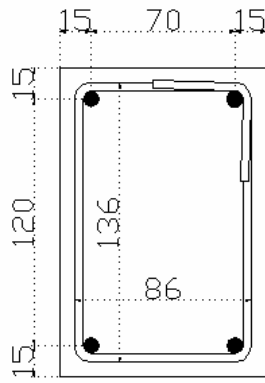


Şekil 32 Referans, Tip-1 - Tip-6 Panelli Çerçevelerin Zarf Eğrileri

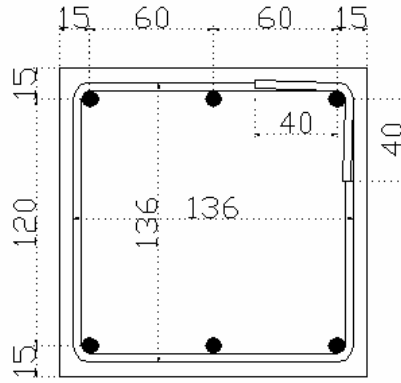


Şekil 33 Referans, Tip-1 - Tip-6 Panelli Çerçevelerin Sertlik Azalma Eğrileri





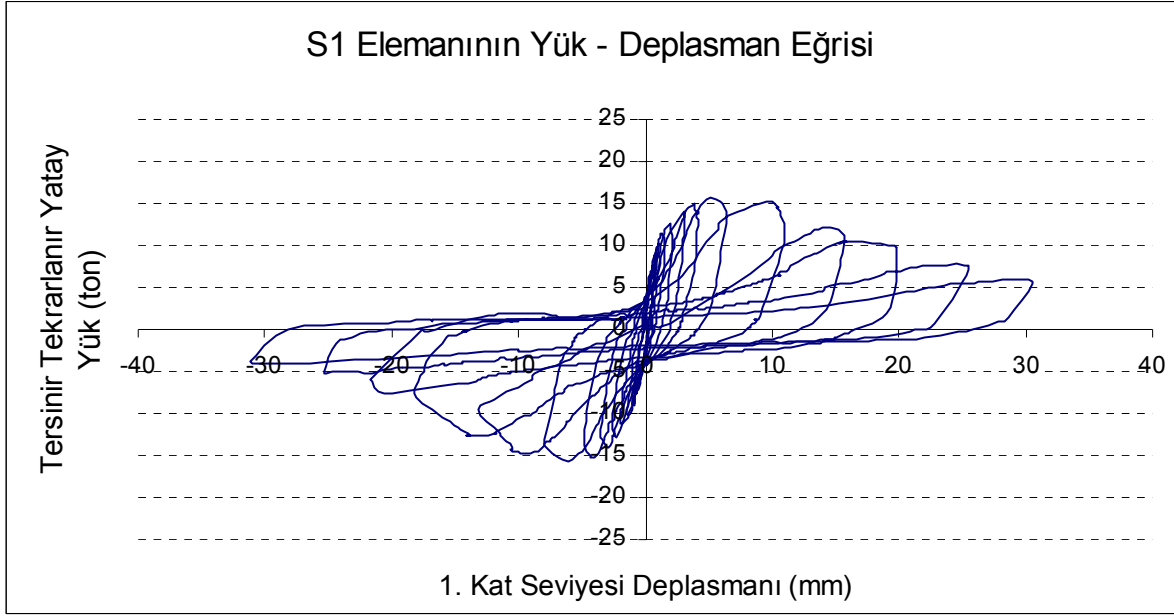
KOLON



KİRİŞ

**Kolonlar ve Kirişler:**  
 Boyuna Donatı :  $\phi 8$   
 Etriye :  $\phi 4$

Şekil 34 Tek Açıklıklı Tek Katlı Zayıf Çerçeve Detayı

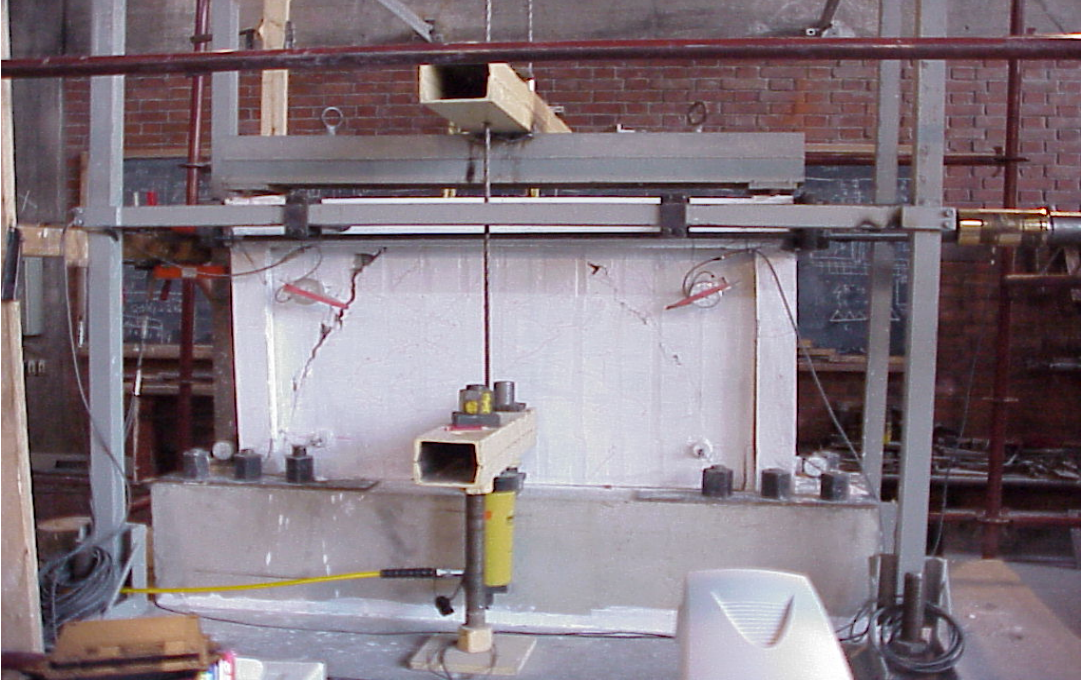


**Şekil 35 S1 Deney Çerçevesinin Tersinir-Tekrarlı Yükler Altındaki Davranışı**

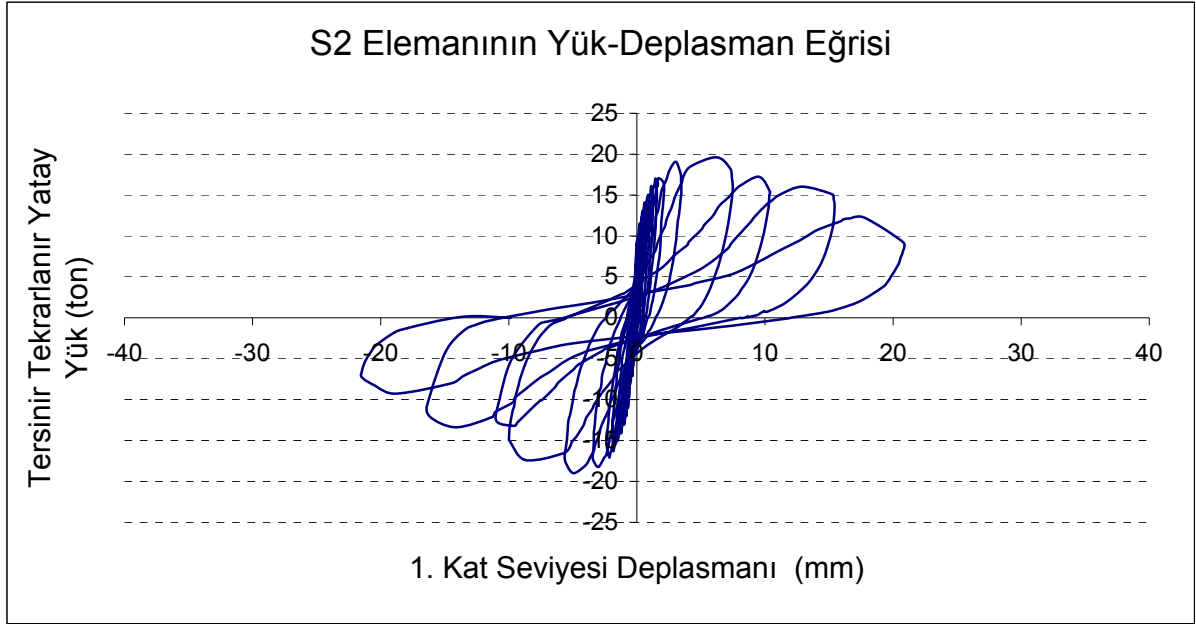


**Fotoğraf 5 S1 Elemanının Deney ncesi Görünümü**





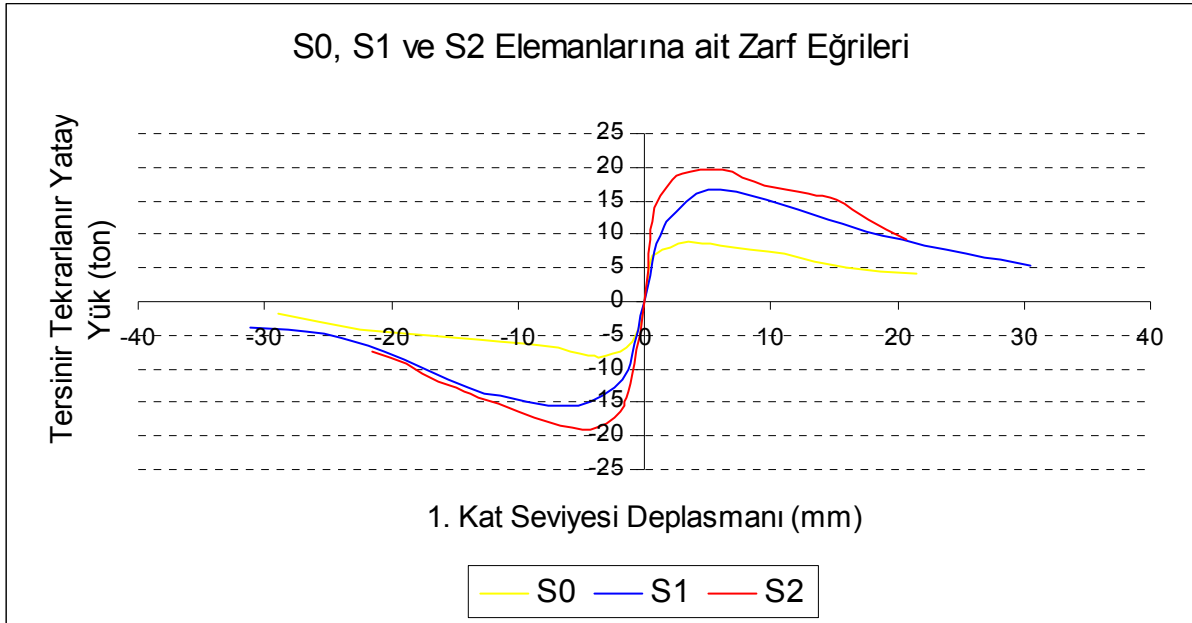
**Fotoğraf 6 S1 Elemanının Deney Sonrası Görünümü**



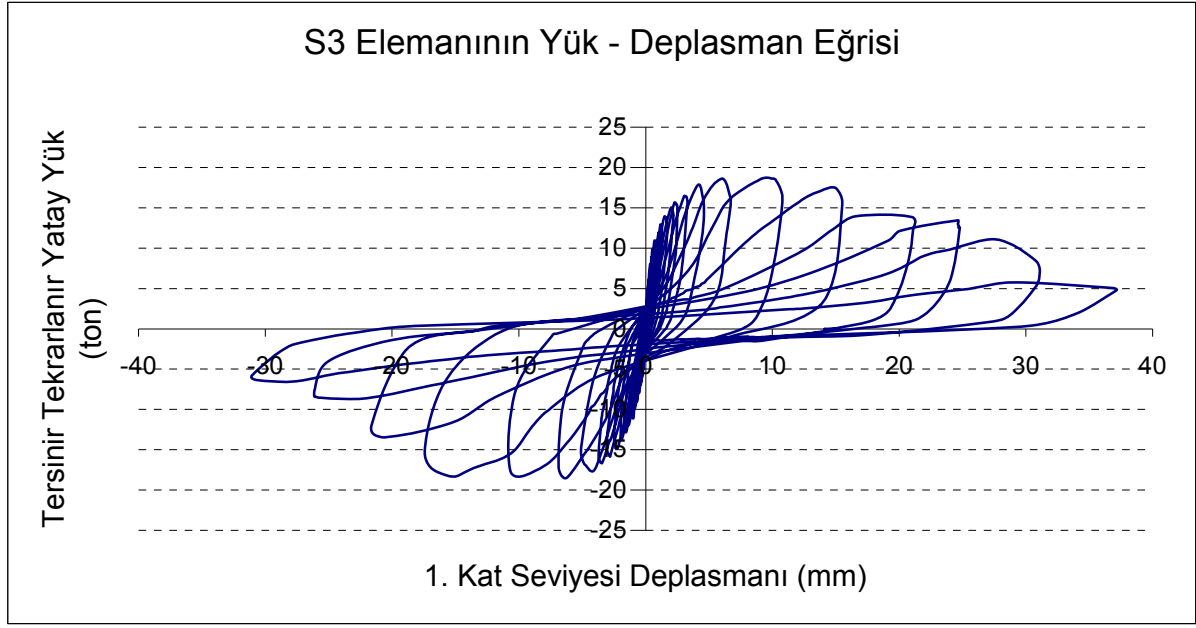
**Şekil 36 S2 Deney Çerçevesinin Tersinir-Tekrarlı Yükler Altındaki Davranışı**



Fotoğraf 7 S2 Elemanının Deney Sonrası Görünümü



Şekil 37 S0, S1 ve S2 Elemanlarına Ait Zarf Eğrileri

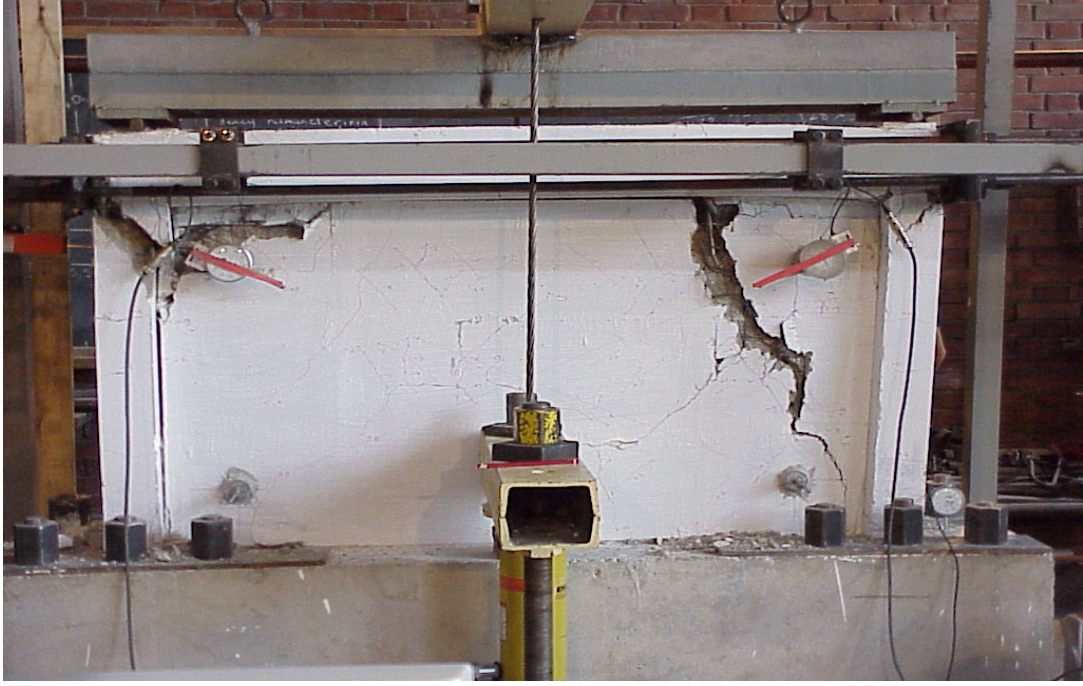


**Şekil 38 S3 Elemanı için Yatay Yük – Deplasman Eğrisi**

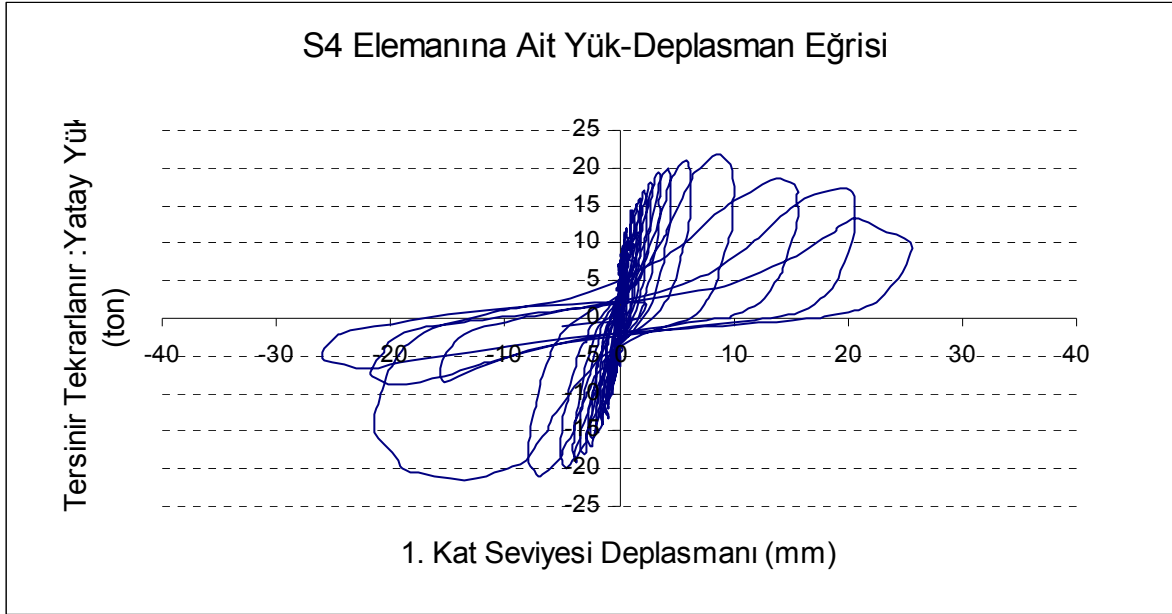


**Fotoğraf 8 S3 Elemanının Deney ncesi Görünümü**





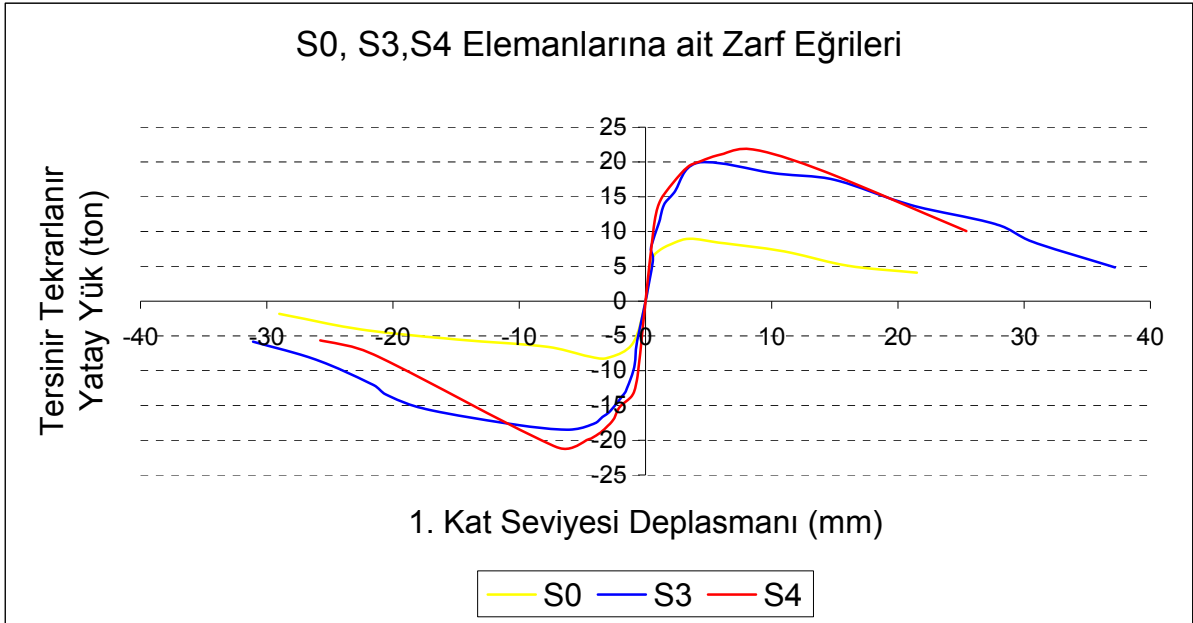
**Fotoğraf 9 S3 Elemanının Deney Sonrası Görünümü**



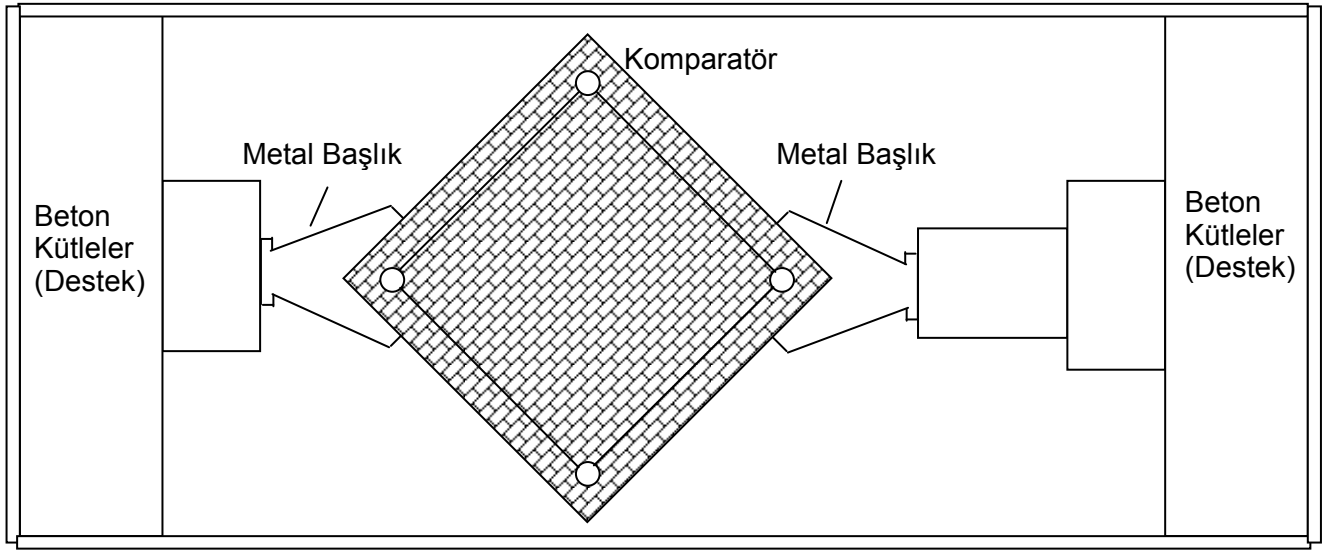
**Şekil 39 S4 Elemanı için Yatay Yük – Deplasman Eğrisi**



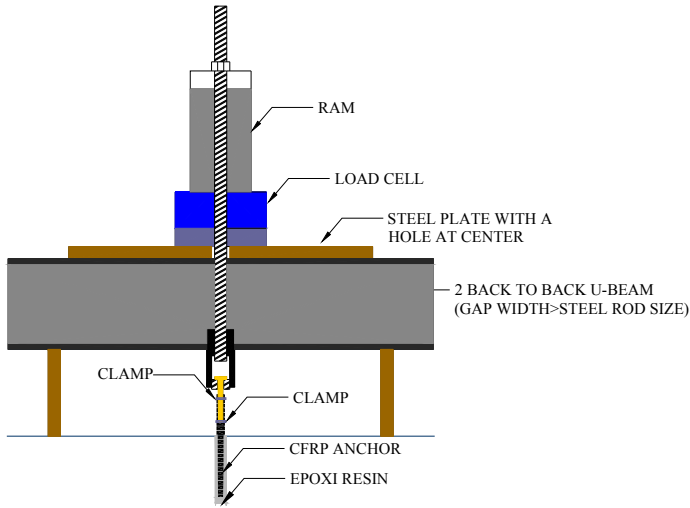
Fotoğraf 10 S4 Elemanının Deney Sonrası Görünümü



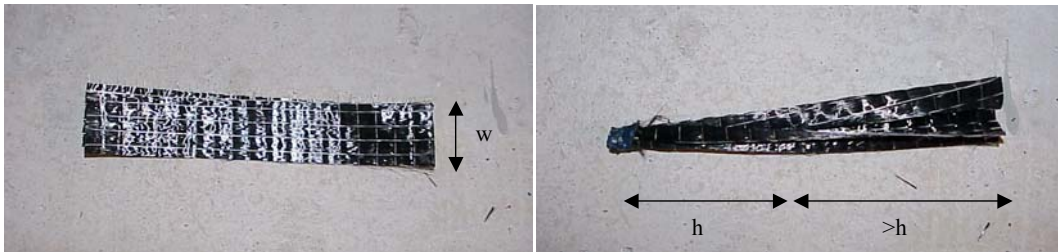
Şekil 40 S0, S3 ve S4 Elemanlarına Ait Zarf Eğrileri



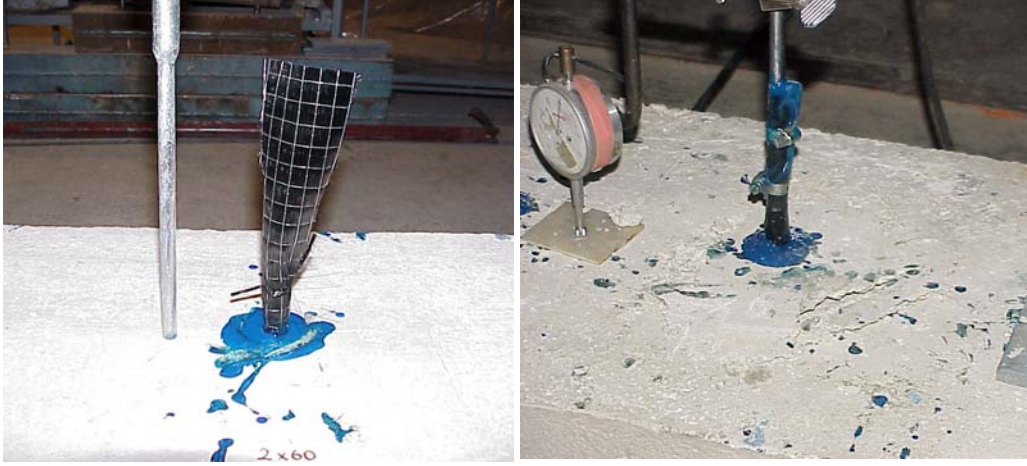
Şekil 41 Tuğla Çerçeve Deney Düzeneği ve Deney Elemanı



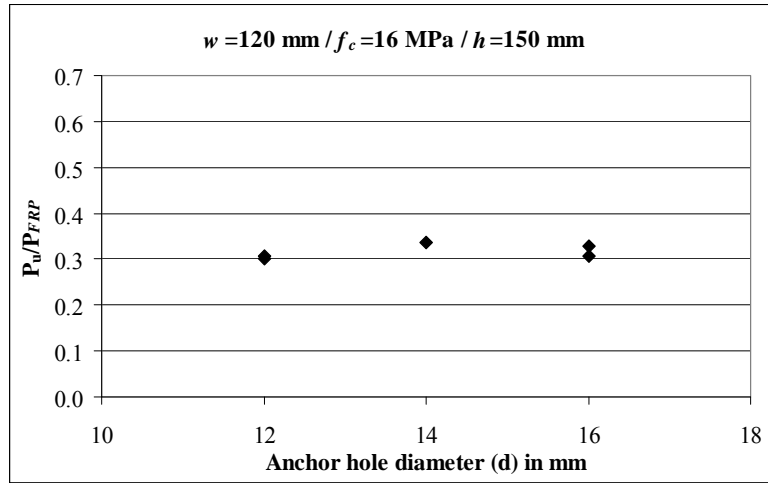
Şekil 42 Eksenel Çekme Deney Düzeneği



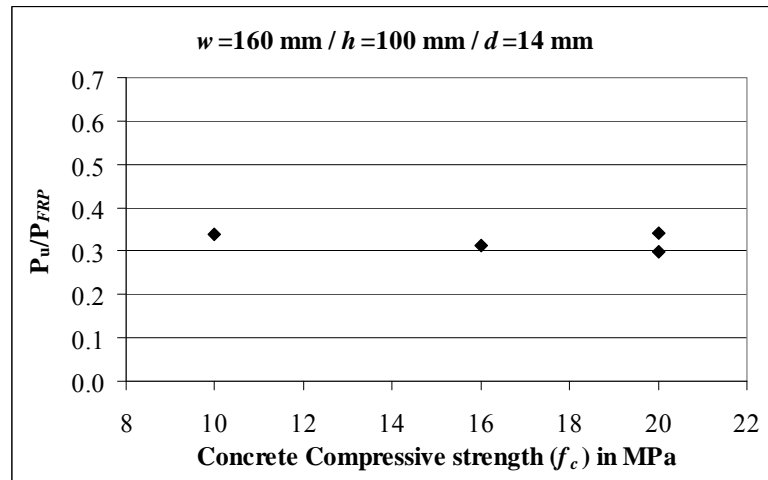
Şekil 43 a) KLF Tabakası (solda) b) KLF Ankraj (sağda)



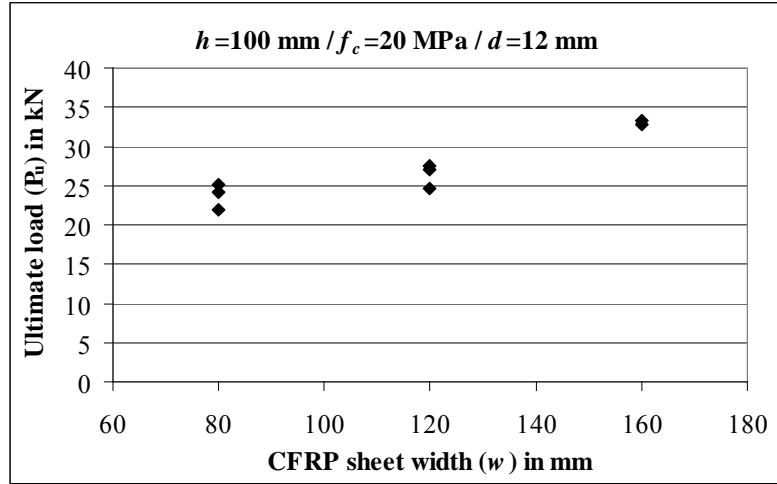
Şekil 44 a) Betona Yerleştirilmiş KLF Ankraj (solda) b) Çekme Çubuğuna Tutturulmuş KLF Ankraj



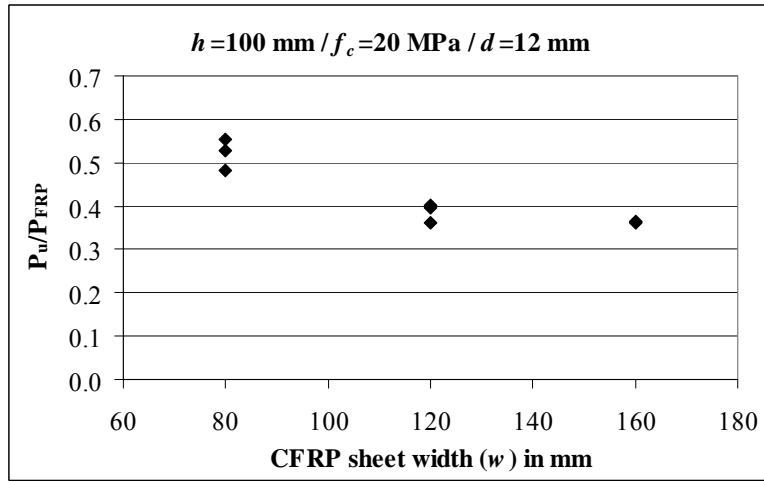
Şekil 45 Delik Çapının Etkisi



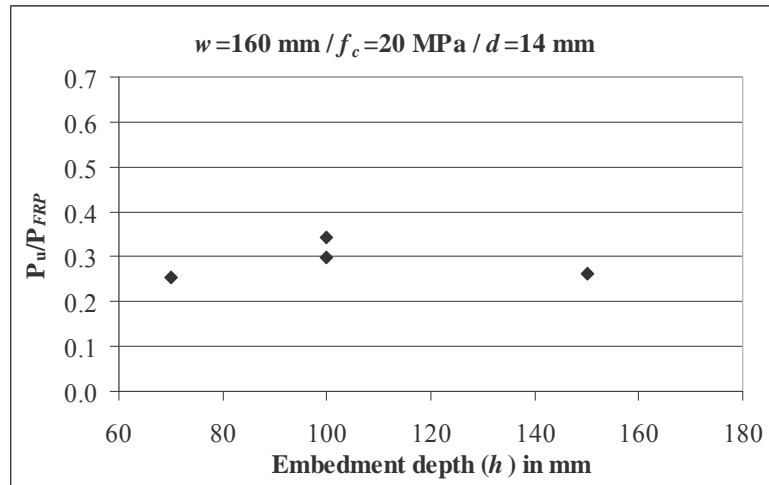
Şekil 46 Beton Basınç Dayanımının Etkisi



Şekil 47 KLF tabakası genişliğinin etkisi

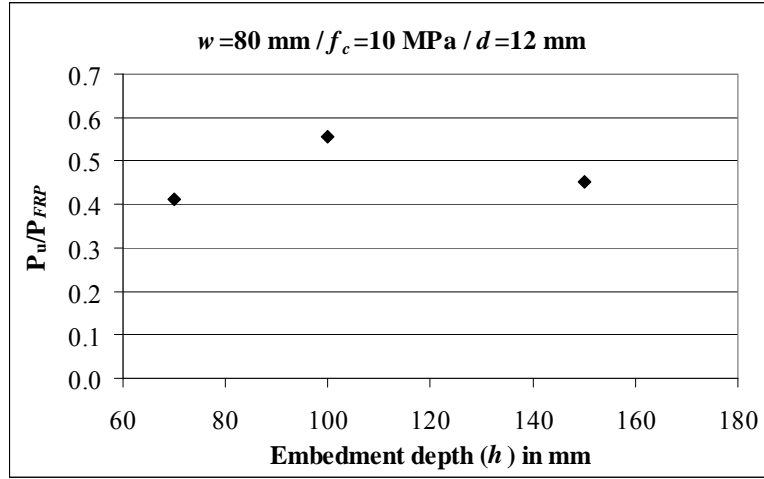


Şekil 48 KLF tabakası genişliğinin etkisi (Normalize edilmiş değerler)

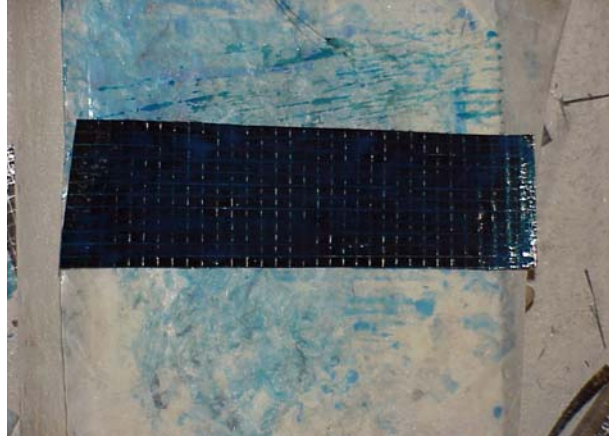


Şekil 49 Ankraj Derinliğinin Etkisi

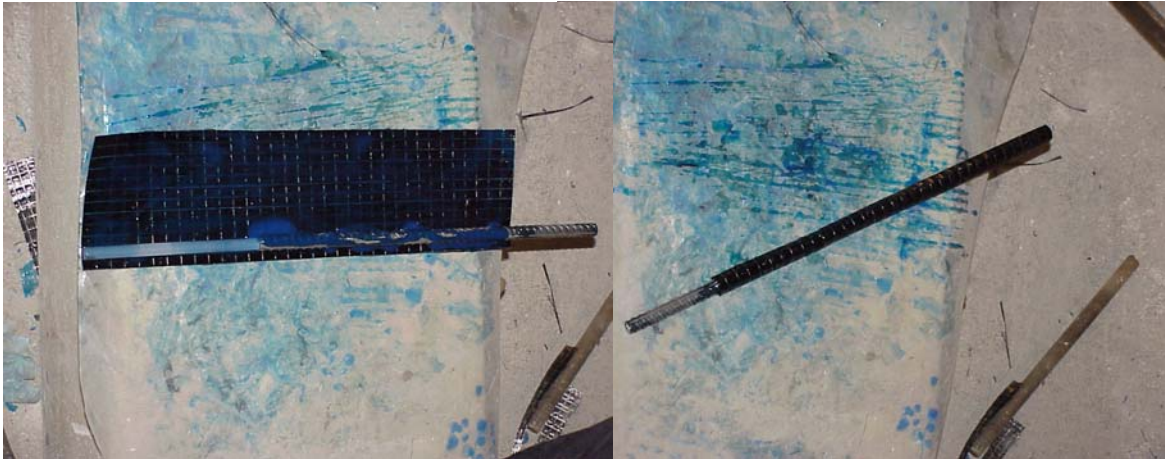




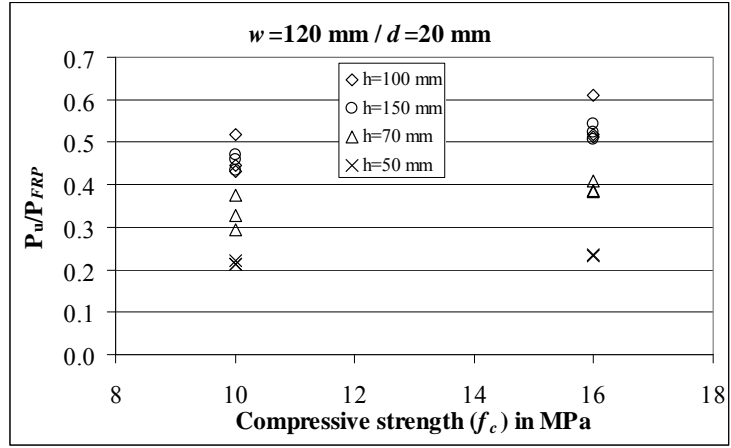
Şekil 50 Ankraj Derinliğinin Etkisi



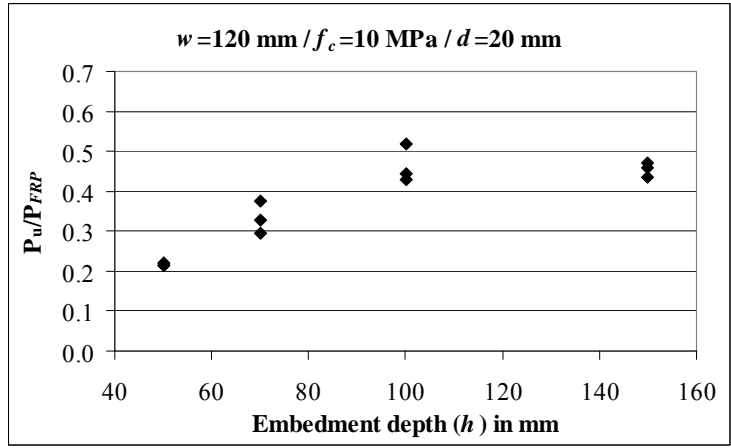
Şekil 51 Epoksi ile Kaplanmış KLF Tabakası



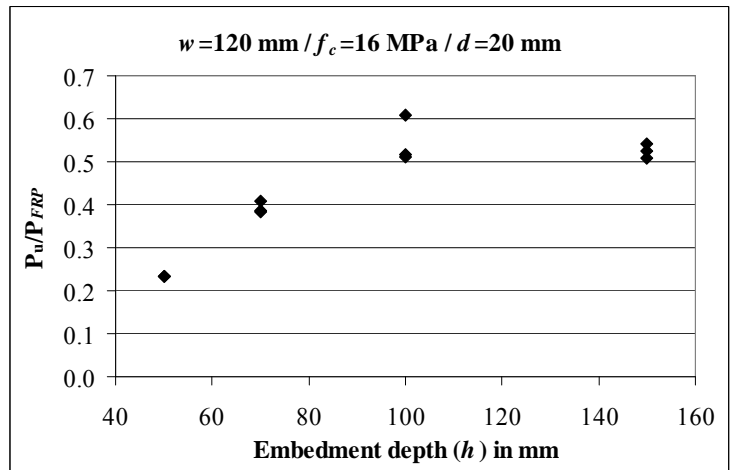
Şekil 52 KLF Tabakasının Yuvarlanarak Ankrajın Hazırlanması



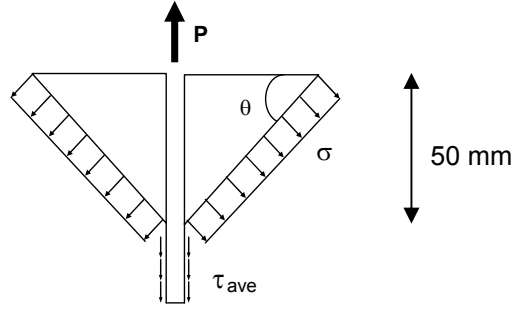
**Şekil 53 Beton Dayanımının Etkisi**



**Şekil 54 Ankraj Derinliğinin Çekme Kapasitesi Üzerindeki Etkisi, 10 MPa beton**



**Şekil 55 Ankraj Derinliğinin Çekme Kapasitesi Üzerindeki Etkisi, 16 MPa beton**



**Şekil 56 Ankraj Derinliği Boyunca Gerilme Dağılımı**



## EK – 3 YAYINLAR

- Akyüz, U., Tankut, T., Ersoy, U., Özcebe, G., Karadoğan, F., İlki, A., Özden, Ş., Baran, M., “Mevcut Hasar Görmemiş Binalar için Güçlendirme Yöntemleri Geliştirilmesi”, Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı I, TÜBİTAK, 39-43, (2001)
- Keskin, R., S., O., “*Behavior of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened By CFRP Reinforcement:Phase I*”, A Master of Science Thesis, Middle East Technical University, (2002)
- Erduran, E., “*Behavior of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened By CFRP Reinforcement:Phase II*”, A Master of Science Thesis, Middle East Technical University, (2002)
- Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Akyüz, U., Erduran, E., Keskin, R.S., ve Mertol, C., “Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliklerinin Artırılması”, ECAS 2002 International Symposium on Structural and Earthquake Engineering, 13-21, (2002)
- Duvarcı, M., “*Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Precast Concrete Panels*”, A Master of Science Thesis, Middle East Technical University, (2003)
- Erdem, İ., “*Strengthening of Existing RC Frames*”, A Master of Science Thesis, Middle East Technical University, (2003)
- Erdem, İ., Akyuz, U., Ersoy, U., and Ozcebe, G., “A Comparative Study on the Strengthening of RC Frames”, Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings, ed. S.T. Wasti and G. Ozcebe, Vol. IV/29, 407-432, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, (2003)
- Ersoy, U., Ozcebe, G., Tankut, T., Akyuz, U., Erduran, E., and Erdem, İ., “Strengthening of Infill Walls with CFRP Sheets”, Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings, ed. S.T. Wasti and G. Ozcebe, Vol. IV/29, 305-334, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, (2003)
- Turer, U. Akyuz, A. Yakut, B. Yalim, “School Building Damage Assessment after Bingol Earthquake”, CD of the International Conference in Earthquake Engineering, Skopje-Ohrid, Macedonia, (2003)
- Baran, M., Tankut, T., Ersoy, U., Özcebe, G., “Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Dolgu Duvarlarının Deprem Davranış ve Dayanımına Katkısı”, Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı II, Selçuk Üniversitesi, 79-83, (2003)
- Akyüz, U., Ersoy, U., Özcebe, G., Erdem, İ., “Betonarme Çerçevelerin Güçlendirilmesi”, Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı II, Selçuk Üniversitesi, 153-158, (2003)
- Akyüz, U., Özdemir, G., “CFRP Ankrajların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı II, Selçuk Üniversitesi, 159-162, (2003)
- G. Ozcebe, U. Ersoy, T. Tankut, U. Akyuz, E. Erduran, “Rehabilitation of Existing Reinforced Concrete Structures Using CFRP Fabrics”, CD of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, paper no: 1393, Vancouver, Canada, (2004)
- İ. Erdem, U. Akyuz, U. Ersoy and G. Ozcebe, “Experimental and Analytical Studies on the Strengthening of RC Frames”, CD of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, paper no: 673, Vancouver, Canada, (2004)
- U. Akyuz, G. Ozdemir, “Mechanical Properties of CFRP Anchorages”, CD of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, paper no: 3349, Vancouver, Canada, (2004)
- İ. Erdem, U. Akyuz, “Nonlinear Analyses of Two Strengthened Infilled RC Frames”, 6th International Congress on Advances in Civil Engineering, 306-314, Istanbul, Turkey, (2004)

- Ozdemir, G., and Akyuz, U., “Tensile Capacities of CFRP Anchors”, Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings, ed. S.T. Wasti and G. Ozcebe, (2005)

## EK – 4 REFERANSLAR

1. Keskin, R., S., O., "*Behavior of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened By CFRP Reinforcement:Phase I*", A Master of Science Thesis, Middle East Technical University, (2002)
2. Erduran, E., "*Behavior of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened By CFRP Reinforcement:Phase II*", A Master of Science Thesis, Middle East Technical University, (2002)
3. Ersoy, U., "Seismic Rehabilitation - Applications, Research and Current Needs", Proc. of the 11th WCEE, Paper No. 2099, (1996)
4. Sugano, S., "State - of - the - Art in Techniques for Rehabilitation of Buildings", Proc. of the 11th WCEE, Paper No. 2175, (1996)
5. Üzümeri, Ş.M., Tankut, T., Özcebe, G., Atımtay, E., "Assessment, Repair/Strengthening of Moderately Damaged Reinforced Concrete Buildings in Ceyhan Earthquake (1998)", Uğur Ersoy Symposium on Structural Engineering, Proceedings, METU-Department of Civil Engineering, Ankara, Turkey, July (1999)
6. Vintzeleou, E., "Behaviour of Infilled Frames Subject to Lateral Actions (A State-of-the-Art Report)", CEB-IMOIS-METU Seminar on Assessment and Redesign of Reinforced Concrete Structures, İzmir, Turkey, April, (1989), pp.1-60
7. Ersoy, U., Uzsoy, S., "The Behavior and Strength of Infilled Frames", Report No. MAG-205 TUBITAK, Ankara, Turkey, (1971), In Turkish
8. Higashi, Y., Kokusho, S., "The Strengthening Method of Existing Reinforced Concrete Buildings", U.S.-Japan Cooperative Research Program in Earthquake Engineering, Honolulu H1, (1975)
9. Kahn, L.F., Hanson, R.D., "Infilled Walls for Earthquake Strengthening", Proc. of the ASCE, Vol. 105, No. ST2, February, (1979), pp. 283-296
10. Hanson, R.D., "Repair and Strengthening of Buildings", Proc. of the 7th WCEE, İstanbul, Vol. 9, (1980), pp. 71-74
11. Higashi, Y., Endo, T., Okhubo, M., Shimizu, Y., "Experimental Study on Strengthening Reinforced Concrete Structure by Adding Shear Wall", Proc. of the 7th WCEE, İstanbul, Vol. 7, (1980), pp.173-180
12. Endo, T., Adachi, H., Nakanishi, M., "Force-Deformation Hysteresis Curves of Reinforced Concrete Shear Walls", Proceeding of the 7th World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 6, İstanbul, (1980)
13. Sugano, S., Fujimura, M., "Aseismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings", Proc. of the 7th WCEE, İstanbul, Vol.4, (1980)
14. Ohki, K., Bessho, S., "Experimental Investigation on Aseismic Strengthening for Existing Reinforced Concrete frames", Proceedings of the 7th World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 6, İstanbul, (1980)
15. Hayashi, Y., Niwa, H., Fukuhara, M., "The Strengthening method of the Existing R/C Buildings", 7th World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 4, İstanbul, (1980)
16. Higashi, Y., Endo, T., Shimizu, Y., "Effects on Behaviors of Reinforced Concrete Frames by Adding Shear Walls", Proceedings of the third Seminar on Repair and Retrofit of Structures, Ann Arbor, (1982)
17. Liauw, T.C., Kwan, K.H., "Unified Plastic Analysis for Infilled Frames", ASCE Journal of Structural Division, Vol. 111, No 7, (1985), pp. 1427-1449
18. Altın, S., "*Strengthening of R/C Frames with R/C Infills*", A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, (1990).
19. Altın, S., Ersoy, U., Tankut, T., "Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills", Report No. METU/SML-90/01, Ankara, Turkey, (1990)
20. Altın, S., Ersoy, U., Tankut, T., "Hysteretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 118, No. 8, (1992)

21. TS-500, Requirements for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures, Ankara, (2000)
22. Wyllie, Jr.L.A., "Strengthening Strategies for Improved Seismic Performance", Proc. of the 11th WCEE, Paper No. 1224, (1996)
23. Aktan, A.E., Bertero, V.V., "The Seismic Resistant Design of R/C Coupled Structural Walls", Report No. UCB/EERC-81/07, University of California, Berkeley, (1981)
24. Aktan, A.E., Bertero, V.V., Chowdhury, A.A., Nagashima, T., "Experimental and Analytical Predictions of the Mechanical Characteristics of a 1/5-Scale Model of a 7-Story R/C Frame-Wall Building Structure", Report No. UCB/EERC-83/13, University of California, Berkeley, (1983)
25. Sause, R., Bertero, V.V., "A Transducer for Measuring the Internal Forces in the Columns of a Frame-Wall Reinforced Concrete Structure", Report No. UCB/EERC-83/05, University of California, Berkeley, (1983)
26. Tankut, T., "Experimental Stress & Strain Analysis", Lecture Notes, Middle East Technical University, (1978)
27. "Rehabilitation of Moderately Damaged R/C Buildings after the 1 October 1995 Dinar Earthquake", Report No: METU/EERC 99-01, (1999)
28. Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T., Türk, M., Sonuvar, M.O., "Behavior of RC Infilled Frames, an Experimental Study", Proceedings of the 2nd Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering, Volume 1, İstanbul, Turkey, (1998)
29. ACI, American Concrete Institute, Committee 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318-R-95), Michigan, 1995
30. Turkish Seismic Code, Ministry of Public Work, Ankara, (1998)
31. Tankut, A.T., "*The Behaviour of the Reinforced Concrete Flat Plate Structures Subjected to Various Combinations of Vertical and Horizontal Loads*", Ph.D. Thesis, Imperial College, (1969)
32. Sonuvar, M. O., "*Hysteretic Response of Reinforced Concrete Frames Repaired by Means of Reinforced Concrete Infills*", A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, (2001)
33. ACI 318-56, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete", *Journal of the American Concrete Institute*, V.52, (1956)
34. Türk, A. M., "*Rehabilitation of Reinforced Concrete Infill Walls*", A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Boğaziçi University, (1998)
35. PCA, "Notes on ACI 318-99 Building Code Requirements for Structural Concrete", Portland Cement Association, (1999)
36. Canbay E., Ersoy U. and Ozcebe G. "Contribution of Reinforced Concrete Infills to Seismic Behavior of Structural Systems." *Structural Journal, ACI*, 100(5): 637-643, (2003).

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

<b>Proje No: 101I004 (İÇTAG – I575)</b>
<b>Proje Başlığı:</b> <b>Mevcut Binalar için Güçlendirme Yöntemleri Geliştirilmesi</b>
<b>Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar:</b> Doç. Dr. Uğurhan AKYÜZ (Proje yürütücüsü), Prof. Dr. Tuğrul TANKUT, Prof. Dr. Uğur ERSOY, Prof. Dr. Güney ÖZCEBE, Prof. Dr. Faruk KARADOĞAN, Doç. Dr. Alper İLKİ, Y. Doç. Dr. Ercan YÜKSEL, Y. Doç. Dr. Şevket ÖZDEN, Dr. Mehmet BARAN, Yük. Müh. Gökhan ÖZDEMİR, Yük. Müh. Cem DEMİR
<b>Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:</b> <b>Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarı, 06531 ODTÜ ANKARA</b>
<b>Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:</b> <b>TÜBİTAK, Atatürk Bulvarı No.221 06100 Kavaklıdere ANKARA</b> <b>NATO Scientific Affairs Division, B – 1100 Bruxelles, Belgium</b> <b>ODTÜ, 06531 ANKARA</b>
<b>Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:</b> <b>01/05/2001 – 01/05/2005</b>
<b>Öz (en çok 70 kelime)</b> <p>Bugün ülkemizde ve diğer ülkelerde yaygın olarak uygulanan "sistem iyileştirmesi" yöntemi, dayanımı ve rijitliği yetersiz çerçevelerin bazı gözlerinin betonarme dolgu ile doldurularak yeni bir yatay yük taşıyıcı sistemi oluşturulması olarak tanımlanabilir. Ancak sözü edilen yöntemde dolgu duvarların oluşturulmasında beton kullanılacağından, binaların boşaltılması gerekmektedir. Bu proje kapsamında, depreme dayanıklı olmayan ve halen kullanılmakta olan binaların boşaltılmadan güçlendirilmesini sağlayacak yöntemler geliştirilmiş ve bunların gerekli dayanım ve rijitliği sağladığı deneysel ve analitik olarak kanıtlanmıştır.</p>
<b>Anahtar Kelimeler:</b> <b>Deprem, güvenlik, betonarme yapılar, güçlendirme, KLF, önüretimli panel</b>
<b>Projeden Yapılan Yayınlar:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Akyüz, U., Tankut, T., Ersoy, U., Özcebe, G., Karadoğan, F., İlki, A., Özden, Ş., Baran, M., "Mevcut Hasar Görmemiş Binalar için Güçlendirme Yöntemleri Geliştirilmesi", Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı I, TÜBİTAK, 39-43, (2001)</li></ul>

- Keskin, R., S., O., “*Behavior of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened By CFRP Reinforcement:Phase I*”, A Master of Science Thesis, Middle East Technical University, (2002)
- Erduran, E., “*Behavior of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened By CFRP Reinforcement:Phase II*”, A Master of Science Thesis, Middle East Technical University, (2002)
- Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Akyüz, U., Erduran, E., Keskin, R.S., ve Mertol, C., “Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliklerinin Artırılması”, ECAS 2002 International Symposium on Structural and Earthquake Engineering, 13-21, (2002)
- Duvarcı, M., “*Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Precast Concrete Panels*”, A Master of Science Thesis, Middle East Technical University, (2003)
- Erdem, İ., “*Strengthening of Existing RC Frames*”, A Master of Science Thesis, Middle East Technical University, (2003)
- Erdem, İ., Akyuz, U., Ersoy, U., and Ozcebe, G., “A Comparative Study on the Strengthening of RC Frames”, Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings, ed. S.T. Wasti and G. Ozcebe, Vol. IV/29, 407-432, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, (2003)
- Ersoy, U., Ozcebe, G., Tankut, T., Akyuz, U., Erduran, E., and Erdem, İ., “Strengthening of Infill Walls with CFRP Sheets”, Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings, ed. S.T. Wasti and G. Ozcebe, Vol. IV/29, 305-334, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, (2003)
- Turer, U. Akyuz, A. Yakut, B. Yalim, “School Building Damage Assessment after Bingöl Earthquake”, CD of the International Conference in Earthquake Engineering, Skopje-Ohrid, Macedonia, (2003)
- Baran, M., Tankut, T., Ersoy, U., Özcebe, G., “Önüretimli Panellerle Güçlendirilmiş Dolgu Duvarlarının Deprem Davranış ve Dayanımına Katkısı”, Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı II, Selçuk Üniversitesi, 79-83, (2003)
- Akyüz, U., Ersoy, U., Özcebe, G., Erdem, İ., “Betonarme Çerçevelerin Güçlendirilmesi”, Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı II, Selçuk Üniversitesi, 153-158, (2003)
- Akyüz, U., Özdemir, G., “CFRP Ankrajların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı II, Selçuk Üniversitesi, 159-162, (2003)
- G. Ozcebe, U. Ersoy, T. Tankut, U. Akyuz, E. Erduran, “Rehabilitation of Existing Reinforced Concrete Structures Using CFRP Fabrics”, CD of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, paper no: 1393, Vancouver, Canada, (2004)
- İ. Erdem, U. Akyuz, U. Ersoy and G. Ozcebe, “Experimental and Analytical Studies on the Strengthening of RC Frames”, CD of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, paper no: 673, Vancouver, Canada, (2004)
- U. Akyuz, G. Ozdemir, “Mechanical Properties of CFRP Anchorages”, CD of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, paper no: 3349, Vancouver, Canada, (2004)
- İ. Erdem, U. Akyuz, “Nonlinear Analyses of Two Strengthened Infilled RC Frames”, 6th International Congress on Advances in Civil Engineering, 306-314, Istanbul, Turkey, (2004)
- Ozdemir, G., and Akyuz, U., “Tensile Capacities of CFRP Anchors”, Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings, ed. S.T. Wasti and G. Ozcebe, (2005)